المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



تخصص اتصالات

أساسيات الاتصالات

١٣٦ تصل

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " **أساسيات الاتصالات** " لمتدربي تخصص "اتصالات" في الكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه: إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تمهيد

إن الاتصالات تصنع تاريخ الإنسانية في هذه الحقبة التي نعيشها وبمعدل يفوق التصور. إن التقدم الهائل لتقنية الاتصالات حولت العالم إلى قرية صغيرة، حيث أصبح الخبر الذي كان يستغرق نقله من قارة لأخرى شهوراً، أصبح ينقل الآن أثناء وقوعه في التو واللحظة. احتاج خبر وفاة نابليون بونابرت في جزيرة سنت هيلانة عام ١٨٢١م إلى شهر كامل ليصل إلى أوروبا.

ثورة الاتصالات التي نعيشها نتاج إنساني ميزت وغيرت ببيئة الإنسان تغيراً جذرياً في كل المجالات. حيث أصبح في مقدور مستشفى في الرياض أن يجري عملية جراحية لمريض بمشاركة وإشراف أشهر بروفيسور في هيوستن بالولايات المتحدة الأمريكية، ولم تعد هناك ضرورة لنقل ذلك المريض إلى هناك، فالطب الاتصالي، أصبح فرعاً من تخصصات الطب الحديثة. والمعارك العسكرية التي وقعت في أرض العراق، أو على سماء صربيا أديرت من بعد يزيد عن ١٥ ألف كيلو متر في الولايات المتحدة الأمريكية، بل إن جنود المشاة أو طاقم الدبابة المقاتلة: يتصل مباشرة عبر الأقمار الصناعية بقيادته المباشرة أو المركزية التي يمكن أن تقع في أي نقطة في المعمورة.

والمدرسة بمفهومها التقليدي: طلاب وفصل ودرس على وشك أن تصبح جزءاً من التاريخ. عصر المعلومات الذي أحدثته ثورة الاتصالات يزيح المدرسة عن عرشها التقليدي كمصدر أول للمعرفة، ويحول العالم كله إلى مدرسة واحدة لتبادل المعارف والخبرات والمعلومات، بل إن الكتاب الورقي الذي يمثل عماد العملية التعليمية والثقافية منذ اختراع جوتنبرغ للمطبعة في القرن الخامس عشر لن يصمد أكثر من عقد أمام الكتاب الإلكتروني.

وفي عالم الاقتصاد بدأت تتشكل ملامح ما يسمى بالاقتصاد الرقمي (Digital Economy) القائم على تقنية الاتصال. فإحصاءات برنامج الأمم المتحدة للتجارة والتنمية (الانتكاد) تشير إلى أن قيمة المعادلات التجارية والاقتصادية الإلكترونية بلغت ١٢٠٠ مليار دولار في عام ٢٠٠٠ أي أنها زادت بمعدل ١٢٣٤٪ خلال سبع سنوات التي سبقت عام ٢٠٠٠ وهي مدة لا تساوي شيئاً في عمر التاريخ وهي في ازدياد رهيب.

وفي عالم المعاملات اليومية للمواطن والمقيم في المملكة العربية السعودية مع الجهات الحكومية تم استحداث ما يسمى "الاستمارة الذكية" حيث يتم تحويل "حقوق" المعاملات عن طريق الصرافة الآلية مباشرة إلى الجهات المعنية مما يساعد هذه الجهات على تقديم خدمات سريعة للأشخاص مما يجنبهم الطوابير الطويلة وهذا كله نتيجة تقدم الاتصالات واستغلال الجانب الإيجابي منها.

أعتقد أن السؤال الذي يطرح نفسه بالرغم من التقدم الهائل والخدمات الرائعة التي يقدمها ميدان الاتصالات البشرية هو : ما هي الآفاق المستقبلية للاتصالات اللاسلكية؟ لا شك أن الأبحاث جارية والنتائج ستكون مدهشة لأن هناك أفكار جديدة مطروحة الآن، فالهواتف الجوالة على سبيل المثال يمكن تزويدها بخدمة تحديد مواقع شبيهة بـ GPS وهذا بكل بساطة يعني انتهاء مشاكل الضياع في الشوارع بالنسبة للصغار والكبار على حد سواء لأنه يمكن الحصول على خرائط للطريق بين نقطتين. كذلك يمكن استخدام هذه الخدمة من أجل متابعة الأطفال في الشارع من طرف أسرهم وتسليط عليهم المراقبة والمتابعة الدقيقة لظمان سلامتهم.

كما سيتم تطوير تقنيات تستخدم المستشعرات اللاسلكية (Sensors) لمتابعة نشاطات أجسام المرضى وكبار السن، وإرسال تنبيهات لاسلكية فورية لمراكز الإسعاف عند حصول أي طارئ.

نحن إذن إزاء عالم جديد يعاد تشكيله بسرعة فائقة غير مسبوقة في التاريخ ومن ثم لا يكفي أن نأخذ موقف المتفرج المستهلك في هذا العالم بل المشارك والفاعل والخطوة الأولى لتحقيق ذلك أن نفهم ضرورة التغيير السريع في هذا العالم وهذا لن يتحقق إلا بواسطة العمل الجاد و المتواصل لقوله عز وجل "وقل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون" وكذلك إتقان العمل لقول الحبيب المصطفى صلى الله عليه وسلم "إن الله يحب أحدكم إذا عمل عملاً أن يتقنه".

من خلال هذه الحقيبة المنهجية الموجهة إلى طلبة كليات الاتصالات بالمملكة العربية السعودية نقدم مقرر أساسيات الاتصالات بأسلوب مبسط ومنهجي مع مراعاة التوضيحات اللازمة من خلال اتباع طريقة إعطاء أمثلة كل بند وهذا يساعد المتدرب بشكل إيجابي على استيعاب هذا المقرر بإذن الله وكذلك اللجوء إلى الأشكال لتقريب المدلول أكثر مع تبيان الميدان التطبيقى وذلك لإجراء الربط بين ما يعطى في المحاضرات والواقع.

تتضمن الحقيبة أربعة وحدات حيث تقدم الوحدة الأولى مدخلاً إلى الاتصالات الإلكترونية، ثم تعطي الوحدة الثانية التعديل السعوي بشقيه الإرسال و الاستقبال. أما الوحدة الثالثة فتتاول الأنظمة المختلفة للتعديل الزاوي. ونختم هذه الحقيبة بالوحدة الرابعة التي تشتمل على التعدد بتقسيم التردد.

بالإضافة إلى الأمثلة المحلولة خلال كل وحدة من وحدات هذه الحقيبة ، هناك تمارين في نهاية كل وحدة أعدت بطريقة منهجية تغطي بصورة شاملة محتوى كل فصل والتي بدون شك أنها ستعزز فهم المتدرب للموضوعات النظرية المطروحة. والله نسأل أن يكون هذا الجهد منفعة لأبناء المسلمين وقوة لهم .

أساسيات الاتصالات

مقدمة في الاتصالات

الوحدة الاولى : مقدمة في الاتصالات
Introduction to Communications

- **الهدف**

عند نهاية هذه الوحدة باستطاعة المتدرب معرفة :

أ- معنى الاتصالات الإلكترونية.
ب- معنى التعديل وكاشف التعديل.
ج- أهمية عملية التعديل في الاتصالات .
د- معنى الطيف الكهومغناطيسى.
ه- تحليل الإشارات وتحليل الضوضاء.
و- مفهوم الخلط و أهمية الاتصالات.
ز- الفرق بين عرض حيزإشارة المعلومات وعرض حيز قناة الإرسال أو قناة النقل.
ح- تطبيقات مختلف أنماط الإرسال.
ط- الضوضاء وأقسام الضوضاء ومختلف الأمثلة على كل قسم.
ي- نسبة الإشاره إلى الضوضاء.

- **محتوى الوحدة الأولى :**

١-١ مقدمة.
١-٢ التعديل وكشف التعديل.
١-٣ الطيف الكهرومغناطيسي.
١-٤ عرض الحيز و القدرة على نقل المعلومات.
١-٥ أنماط الإرسال.
١-٦ تحليل الإشارات.
١-٧ الخلط.
١-٨ تحليل الضوضاء.
١-٩ نسبة الإشاره إلى الضوضاء

عدد الساعات المطلوبة لتدريس هذه الوحدة : ١٨ ساعات

١-١ مقدمة Introduction

الاتصالات الإلكترونية هي عبارة عن عملية إرسال، واستقبال ومعالجة الإشارة بين محطتين أو أكثر وذلك باستعمال الدوائر الإلكترونية. إن إشارة المعلومات يمكن أن تأخذ إحدى الصيغتين إما إشارة تماثلية (مستمرة) أو إشارة رقمية (متقطعة).

أ تاريخ الاتصالات Historical Review

- في سنة ١٨٣٧م استطاع مورس أن يطور أول نظام للاتصالات الإلكترونية.
- في سنة ١٨٧٦م تم ولأول مرة في التاريخ نقل صوت الإنسان عبر الأسلاك الكهربائية من طرف جراهام بل وتوماس.
- في سنة ١٨٩٤م بدأت الاتصالات باستخدام موجات الراديو.
- في سنة ١٩٢٠م بدأ البث الإذاعي باستخدام موجات AM.
- في سنة ١٩٣٣م اكتشفت موجات FM.
- في سنة ١٩٣٦م بدأ البث الإذاعي باستخدام موجات FM.

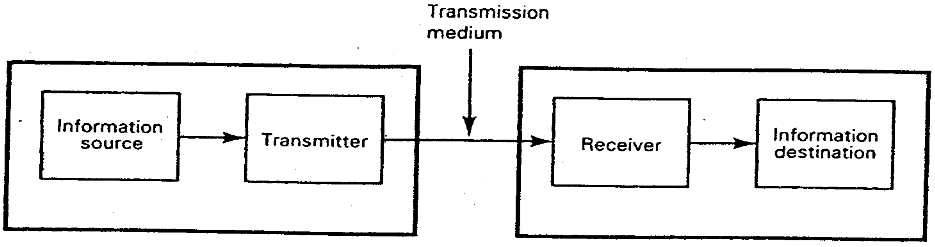
وبعد أن تم اكتشاف أشباه الموصلات التي أحدثت تقدماً هائلاً في عالم الاتصالات بفضل صناعة الشرائح الإلكترونية الدقيقة والمتناهية في الصغر والتي سمحت لأنظمة الاتصالات الإلكترونية المتطورة والتي تشمل أنظمة رقمية، وأنظمة الميكروييف، والأقمار الصناعية وأنظمة الاتصالات الضوئية باستعمال الألياف بأن تحول العالم إلى قرية صغيرة.

و يمكن تصنيف أنظمة الاتصالات الإلكترونية إلى نوعين:

نظام الاتصالات التماثلية Analog Communications System هو عبارة عن نظام إلكتروني حيث ترسل الطاقة وتستقبل على شكل مستمر.

- نظام الاتصالات الرقمية: هو عبارة عن نظام إلكتروني حيث الطاقة ترسل وتستقبل على شكل مستويات متقطعة مثل +5V والأرضي.

مهما كان نوع نظام الاتصالات فإنه يتشكل من العناصر التالية: منبع لإشارة المعلومات، وقسم الإرسال (المرسل)، والوسط الناقل (والذي بدوره ينقسم إلى قسمين سلكي ولا سلكي)، وقسم الاستقبال (المستقبل). الشكل (١- ١) يوضح الأجزاء الرئيسة لأي نظام اتصالات.



الشكل ١- ١ يوضح العناصر الأساسية لنظام الاتصالات

١-٢ التعديل وكشف التعديل

إن معظم إشارات النطاق الترددي الأساسي الناشئة عن مصادر المعلومات المختلفة لا تكون دائماً مناسبة للنقل عبر الوسط الناقل (قنوات الاتصال المتاحة) ولهذا فإن هذه الإشارات تعدل عادة لتسهيل عملية النقل وتعرف هذه العملية بالتعديل حيث تستعمل إشارة النطاق الترددي الأساسي (إشارة ذات تردد ضعيف) لتعديل بعض خصائص الموجة الحاملة العالية التردد.

وهذه الموجة الحاملة هي عبارة عن إشارة موجية عالية التردد والتي تولّد عن طريق المذبذب الموضعي والمتواجد في قسم الإرسال. والمذبذب هو عبارة عن دائرة إلكترونية والتي تنتج موجة ذبذبات عند الخرج والتي تغذي فقط عند الدخل بواسطة جهد مستمر.

١- ٢- ١ أنواع التعديل

تستعمل إشارة المعلومات والتي يطلق عليها إشارة التعديل في تعديل السعة أو التردد أو الطورللموجة الحاملة. ولهذا يمكن أن نقول أن هناك ثلاثة أنواع من التعديل وهي:

١- تعديل السعة (AM) : وهو عبارة عن تغير سعة أو اتساع الموجة الحاملة بواسطة إشارة التعديل بمقدار يتناسب مع إشارة التعديل أما الموجة الناتجة فتدعى موجة تعديل السعة (Amplitude Modulation).

٢- تعديل التردد (FM) هو عبارة عن تغير تردد الموجة الحاملة بواسطة إشارة التعديل بمقدار يتناسب مع التغيير الذي يطرأ على إشارة التعديل أما الموجة الناتجة تدعى موجة تعديل التردد (Frequency Modulation).

٣- تعديل الطور (PM) وهو عبارة عن تغير في طور الموجة الحاملة بواسطة إشارة التعديل بمقدار يتناسب مع التغيير الحاصل في إشارة التعديل نفسها أما الموجة الناتجة فتدعى موجة تعديل الطور (Phase Modulation).

أما عملية كشف التعديل أو ما يسمى كذلك بإزالة التعديل هي عبارة عن عملية استخلاص إشارة المعلومات (إشارة التعديل أو إشارة النطاق الأساسي الأصلية) من الموجة الحاملة.

نود التنبيه على أن عملية التعديل تتم في قسم الإرسال أما الإشارة الناتجة من عملية التعديل والتي يمكن أن يطلق عليها الموجة المعدَلة (modulated wave) ويمكن أن تكون إحدى الأنواع الثلاثة التي سبق ذكرها فإما أن تأخذ صيغة AM أو FM أو PM حسب طبيعة التعديل الذي تم في قسم الإرسال كما هو موضح في الشكل (١- ٢). أما الإشارة التي تخرج من قسم الاستقبال فهي تدعى الإشارة المستخلصة (Demodulated Signal) و التي سيتم شرحها مفصلاً في الوحدات المتبقية.

١- ٢- ٢ أهمية التعديل

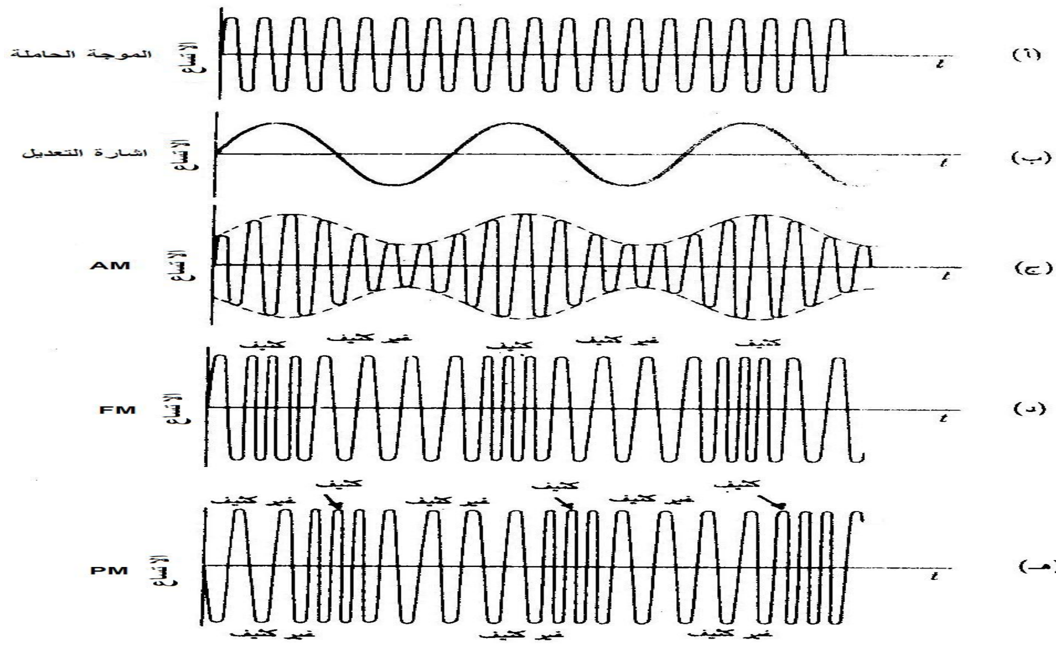
هناك سؤال مهم جداً يطرح نفسه ويطرحه كل قارئ لماذا عملية التعديل ؟ وهل هي عملية ضرورية في الاتصالات ؟ وهل يمكن الاستغناء عنها ؟ للإجابة على هذا السؤال سوف نناقش بعض الأسباب المهمة لعملية التعديل وهي:

أ- سهولة الإشعاع

لكي يتم بث الموجات المغناطيسية بكفاءة فإن طول هوائي الإرسال يجب أن يكون في حدود 10٪ من طول موجة الإشارة المرسلة. وبالنسبة لكثير من إشارات النطاق الترددي الأساسي (إشارات المعلومات) فإن أطوال الموجات تكون كبيرة جداً لدرجة أن أبعاد الهوائيات المطلوبة تتجاوز الأرقام المعقولة. وكمثال فإن موجة الصوت تتركز في الترددات بين 100 هيرتز و 3000 هرتز، أي إن أطوال موجاتها تتراوح بين 100كم و3000 كلم على الترتيب مما يستدعي هوائيات ذات أطوال غير عملية (في حدود 10 كم إلى 300 كم). وبدلاً عن ذلك يتم تعديل الموجة الحاملة العالية التردد ذات طول موجي صغير مما يتطلب استعمال هوائيات عملية ذات أقل تكلفة. وبذلك يتم بث الموجة المغناطيسية التي تحمل إشارة المعلومات بكفاءة عالية. وكمثال فلو كان تردد الموجة الحاملة100 جيجاهرتز لكان الطول الموجي لها 300سم، وبالتالي يمكن استعمال هوائي يبلغ من الطول 30سم. ومن هذه الناحية فإن عملية التعديل تشبه حمل إشارة التردد الأساسي فوق موجة جيبية عالية التردد (الحامل). ويمكن تشبيه الموجة الحاملة وإشارة المعلومات بقلم وورقة: فلو أردنا أن نرمي الورقة بحالها فلن تذهب بعيداً، ولكن لو لففنا الورقة حول القلم، فإننا نستطيع أن نرميها إلى مسافة أبعد.

ب- النقل المتزامن لعدة إشارات

أفرض أن عدداً من محطات الإذاعة تبث إشارتها الصوتية مباشرة وبدون أي تعديل. بطبيعة الحال سوف تتداخل هذه الإشارات لأن طيفها الترددي يشغل النطاق نفسه تقريباً. ولهذا فلن يكون من الممكن بث أكثر من قناة إذاعية واحدة في الوقت نفسه.



الشكل ١- ٢ أنواع التعديل عند الإرسال .

وإحدى الطرق الناجحة لحل مثل هذه المعضلة تكمن في استعمال التعديل حيث يمكن تعديل إشارات صوتية متعددة فوق حوامل ذات ترددات مختلفة وبهذا فإننا ننقل كل إشارة إلى نطاق ترددي مختلف. وإذا كانت ترددات الموجات الحاملة بعيدة عن بعضها بما فيه الكفاية فإن أطياف الإشارات المعدَلة لن تتداخل مع بعضها ، ويمكن في جهاز الاستقبال استعمال مرشح إمرار نطاقي قابل للتغيير لاختيار الإشارة أو المحطة المرغوبة. وتعرف بتقسيم التردد Frequency Division Multiplexing (FDM) حيث تشترك إشارات مختلفة في استعمال النطاق الترددي للقناة بدون أي تداخل.

١-٣ الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic Spectrum

تنقسم ترددات الموجات الكهرومغناطيسية التي يجري إرسالها إلى أنظمة الاتصالات المعتادة إلى ثمانية أقسام رئيسة. وتتمتع كل هذه الأقسام بمواصفات إرسال خاصة تجعلها مناسبة لعدد من التطبيقات. ويبين الجدول (١- ١)هذه الأقسام الثمانية إلى جانب أطوال موجاتها ، ويمكن استخلاص أطوال الموجات هذه اعتماداً على القانون التالي:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad [\,\mathrm{m}\,] \qquad (1\text{-}1)$$

حيث:

λ طول الموجة بالمتر

C: سرعة الضوء **:** (300000000 =10^8) م/ث

f: تردد الموجة بالهرتز (Hz).

الجدول ١-١: يبين الأقسام الرئيسة في طيف الترددات الكهرومغناطيسية

م	القسم	الترددات	أطوال الموجات
١	قسم الترددات المنخفضة جداً(VLF)	3kHz-30kHz	100km-10km
٢	قسم الترددات المنخفضة(LF)	30kHz-300kHz	10km-1km
٣	قسم الترددات المتوسطة(MF)	300kHz-3MHz	1km -100m
٤	قسم الترددات العالية(HF)	3MHz-30MHz	100m-10m
٥	قسم الترددات العالية جداً(VHF)	30MHz-300MHz	10m-1m
٦	قسم الترددات المتفوقة(UHF)	300MHz-3GHz	1m-10cm
٧	قسم الترددات الفائقة(SHF)	3GHz-30GHz	10cm-1cm
٨	قسم الفائقة للغاية (EHF)	30GHz-300GHz	1cm-1mm

حيث نعني بـ V: very، L: Low، H: High، F: Frequency، M: medium،
E: Extremely, S: Super, U: Ultra.

مثال ١-١

أ. أوجد الطوال الموجي (λ) لكل من الترددات التالية

1 كيلو هرتز(1 KHz)

100 كيلو هرتز(100 KHz)

1 ميجاهرتز(1 MHz)

ب . ماذا تستنتج؟

الحل:

أ. باستعمال العلاقة (1-1) نجد

1- f= 1000Hz:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\times 10^{8}}{1000} = 300\ Km$$

2- f= 10^5 Hz

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\times 10^{8}}{10^{5}} = 3\,Km$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\times 10^{8}}{10^{6}} = 300m$$

3- f=10^6 Hz

ب- من خلال الأرقام التي تحصلنا عليها نستنتج أنه كلما زاد التردد قل طول الموجة، وهذا يوضح لنا لماذا موجات الميكروييف (أو الموجات الدقيقة) تستعمل في الاتصالات بواسطة الأقمار الصناعية لأن أطوال موجاتها قصيرة جداً كما يوضح الجدول (١- ١) وبالتالي بإمكان الموجة اختراق الغلاف الجوي بكل سهولة ولا يحدث لها انعكاس كما في الترددات المنخفضة والمتوسطة وبالتالي تلتحق هذه الموجات بالأقمار الصناعية ليعاد إرسالها إلى المناطق المرغوبة.

والآن بعدما عرفنا الأقسام الرئيسة لطيف الترددات المغناطيسية نلقي الضوء فيما يلي على بعض التطبيقات الهامة ضمن كل من هذه الأقسام.

أ- قسم الترددات المنخفضة جداً (VLF)، ومجال الترددات المنخفضة (LF) ويستخدم أساساً في الملاحة .

ب- قسم الترددات المتوسطة (MF): يستخدم غالباً في البث الإذاعي المعتاد.

جـ- قسم الترددات العالية (HF): ويستخدم في بعض الهواتف، والاتصال بين الطائرات والسفن وغير ذلك.

د- قسم الترددات العالية جداً (VHF): ويستخدم في بعض أنظمة التلفاز والإرسال الإذاعي، وأنظمة التحكم بالحركة الجوية، وأنظمة اتصالات الشرطة، وغيرها.

هـ- قسم الترددات المتفوقة (UHF): ويستخدم أيضاً في بعض أنظمة التلفاز، وعدد من أنظمة الرادار، والأقمار الصناعية.

و قسم الترددات الفائقة (SHF): يستخدم في عدد من أنظمة الرادار المختلفة وفي توصيلات موجات الميكروييف، وعدد من أنظمة الاتصالات المتحركة.

ز- قسم الترددات الفائقة للغاية (EHF): ويستخدم في بعض أنظمة القطارات، وبعض أنظمة الرادار.

ونظراً لاتساع مجالات الترددات العليا، وإمكاناتها في استيعاب العديد من التطبيقات، فإنها قسمت بدورها إلى عدد من الأقسام حيث وضع لكل قسم اسم ورمز كما يوضحه الجدول (١- ٢).

بالإضافة إلى ما سبق من مجالات ترددات معروف يقل في معظم تردداته عن قسم الترددات المنخفضة وهذا يعرف بقسم الترددات الصوتية Voice Frequency VF، حيث تقع تردداته ما بين 300-3400 هرتز.

الجدول١- ٢يوضح نطاقات ورموزها في مجال الميكروييف.

نطاق الترددات	الرمز السابق	الرمز الحالي
500 MHG - 1GHz	VHF	C
1GHz - 2GHz	L	D
2GHz - 3GHz	S	E
3GHz - 4GHz	S	F
4GHz - 6GHz	C	G
6GHz - 8GHz	C	H
8GHz - 10GHz	X	I
10GHz - 12.4GHz	X	J
12.4GHz - 18GHz	Ku	J
18GHz - 20GHz	K	J
20GHz - 26.5GHz	K	K
26.5GHz - 40GHz	Ka	K

نود أن نلتف الانتباه بأن مجموع الأقسام التالية EHF, SHF , UHF هي جزء من مجال ترددات الميكروييف المحصورة بين **(300MHz – 300GHz)**.

أما الترددات التي تفوق قسم الترددات الفائقة EHF فتتقسم إلى عدة أقسام وهي:

أ- قسم الترددات الضوئية ويبدأ هذا القسم عن حوالي 10^{12}Hz ويمتد حتى يتجاوز 10^{16}Hz، وينقسم إلى ثلاثة مجالات هي: الأشعة تحت الحمراء infrared، والضوء المرئي Visible، والأشعة فوق البنفسجية ultraviolet.

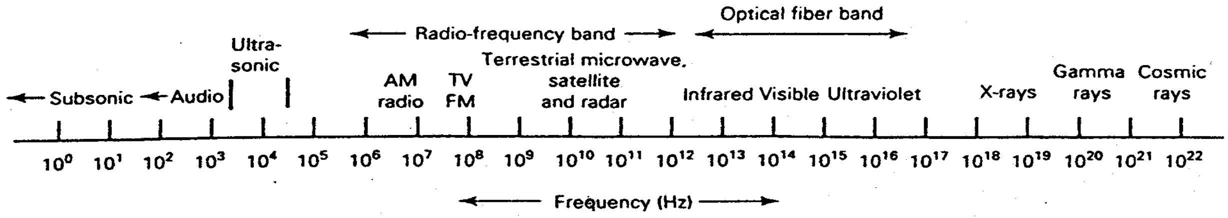
ب- قسم ترددات الأشعة السينية X-rays ويقع ضمن نطاق يتوسطه التردد 10^{18}Hz.

ج- قسم ترددات أشعة جاما Gama rays؛ ويفوق مجال تردداتها الأشعة السينية ويتداخل معه ويقع ضمن ترددات يتوسطه 10^{20}Hz على وجه التقريب.

د- قسم ترددات فوتونات الأشعة الكونية(**c**osmic photons) ويتجاوز هذا المجال مجال أشعة جاما ويصل إلى أكثر من التردد 10^{32}Hz.

أما ترددات الاتصالات عبر الألياف البصرية Fiber Optics وترددات الليزر Laser تقع ضمن الترددات الضوئية أما الضوء المرئي فهو يشكل جزءاً محدوداً من مجال الترددات الضوئية ويقع هذا الجزء بين بداية الضوء الأحمر (4.285×10^{14}Hz) وحتى نهاية الضوء البنفسجي (7.5×10^{14}Hz).

يمكن أن نعبر على كل ما سبق ذكره من مختلف أقسام الترددات بالشكل (١- ٣).



الشكل ١- ٣ الإشارات الكهرومغناطيسي

١-٤ الحيز (عرض النطاق) Bandwidth

يعتبر عرض النطاق أحد العناصر الأساسية بجانب الضوضاء الذي يقلل من كفاءة نظم الاتصالات. هنا يجب التمييز بين نوعين من عرض النطاق، هناك عرض نطاق إشارة المعلومات (BW_{Info}) وعرض نطاق قناة الإرسال أو ما يسمى كذلك عرض قناة الاتصال (BW_{ch}). فإن عرض نطاق إشارة المعلومات فهو عبارة عن الفرق بين التردد الأعلى والتردد الأدنى المحتويين ضمن إشارة المعلومات. أما عرض نطاق القناة هو عبارة عن الفرق بين التردد الأعلى والأدنى اللذين تسمح لهما القناة بالمرور. وبالتالي نخلص إلى القاعدة التالية حتى تنقل إشارة المعلومات عبر أي قناة لا بد أن يكون عرض نطاق إشارة المعلومات أقل أو يساوي عرض نطاق القناة. أي

$$BW_{\text{info}} \leq BW_{ch} \tag{1-2}$$

BW_{info}: عرض نطاق إشارة المعلومات

BW_{ch}: عرض نطاق قناة الاتصال.

مثال ١- ٢

إذا كان نظام الإرسال التلفزيوني الذي يستخدم الكوابل للنقل له عرض نطاق من 500 كيلو هرتز إلى 5000 كيلو هرتز.

أ. احسب عرض نطاق القناة(BW_{ch}).

ب. هل هذه القناة تسمح بمرور الإشارات الصوتية؟

جـ. هل تتمكن الإشارات ذات الترددات العالية HFالعبور خلال هذه القناة؟

الحل:

أ. عرض نطاق القناة

$$BW_{ch} = 5000 - 500 = 4500 \text{ KHz}$$

ب. عرض نطاق الإشارة الصوتية(Bw_{voice})

$$BW_{voice} = 3400 - 300 = 3100 \text{ Hz}$$

واضح أن هذه القناة تسمح للإشارات الصوتية بالمرور لأن عرض نطاق هذه القناة أكبر من عرض نطاق الإشارات الصوتية.

جـ. عرض نطاق إشارات ذات الترددات العالية HF

$$BW_{HF} = 30\ MHz - 3\ MHz = 27\ MHz$$

واضح أن هذا النوع من الإشارات لا يمكنها العبور خلال هذه القناة لأن عرض نطاقها أكبر بكثير من عرض نطاق القناة.

١-٥ أنماط الإرسال Transmission Modes

إن الإرسال في نظام الاتصالات الإلكترونية لابد أن يصمم حسب الاحتياجات التالية:

أ. الإرسال في اتجاه واحد ويدعى Simplex (SX) وكمثال على ذلك المذياع والتلفاز .

ب. الإرسال المتناوب وهو يتم في اتجاهين لكن ليس في نفس الوقت وهو يدعى Half Duplex (HDX) وكمثال على ذلك نظام المذياع ذو اتجاهين (اضغط لتتحدث) .

جـ. الإرسال في اتجاهين هنا الإرسال يتم في اتجاهين وفي نفس الوقت ويطلق عليه Full Duplex (FDX)، وكمثال على ذلك نظام الهاتف و الجوال.

د. الإرسال متعدد الاتجاهات في هذا النوع من الإرسال يمكن إرسال واستقبال إلى ومن عدة محطات وفي آن واحد ويطلق عليه Full/Full Duplex (F/FDX) وكمثال على ذلك خدمات البريد.

١-٦ تحليل الإشارات Signals Analysis

يستخدم علم تحليل الإشارات الوسائل الرياضية لإيجاد مواصفات الموجات في مجال التردد، ومعرفة العلاقات التي تربط هذه المواصفات بتلك القائمة في مجال الزمن. ويفيد هذا العلم مهندس وفني الاتصالات في دراسة الموجات المرسلة والمستقبلة والمعالجة في أنظمة الاتصالات. إن نظرية تحليل الإشارات تشمل دراسة لنشر فورير بحالاته المختلفة وتطبيقاته في حساب القدرة القياسية للموجات عند تردداتها المختلفة، وكذلك تحويل فورير وتطبيقاته في الطاقة القياسية ونظرية الالتفاق، واستجابة الأنظمة وارتباط الموجات. نحن في هذه الحقيبة نستعرض لنشر فورية فقط، أما من أراد أن يتوسع أكثر فعليه بالرجوع إلى المراجع المذكورة في نهاية الحقيبة.

١-٦-١ نشر فورير Fourier Expansion

الغاية من نشر فورير هي تحويل دالة مثل دالة الجهد $V(t)$ المتغيرة بالنسبة للزمن بشكل دوري إلى مركبات الأساسية في مجال التردد. ويعطي هذا النشر معلومات حول هيكل ترددات الموجة، وبالتالي عرض نطاق تردداتها، التي تساعد في تصميم واختيار أجهزة الاتصالات المناسبة.

ولدراسة نشر فورير نفرض أن لدينا الموجة الدورية *V(t)* ، حيث يبلغ دورها T، وترددها *f* وترددها الزاوي ω. يعطى نشر فورييه لهذه الموجة على النحو التالي:

$$v(t) = A_0 + A_1\cos(wt) + A_2\cos(2wt) + ... + A_n\cos(nwt) +$$

$$B_0 + B_1 Sin(wt) + A_2\sin(2wt) + ... + A_n\sin(nwt) \qquad (1\text{-}9)$$

يمكن كتابة السلسلة (9 -1) على الشكل التالي:

$$\mathrm{V(t) = A_0 + fundamenta\ l + 2^{nd}\ harmonic\ + 3^{rd}\ harmonic\ + \ldots\ldots\ldots + n^{th}\ harmonic} \qquad (1\text{-}10)$$

حيث :

A_0: يمثل القيمة الثابتة للجهد أو التيار المستمر (DC value).

Fundamental : المركبة الأساسية للموجة كما تدعى التوافق الأساسي للموجة وترديدها هو تردد الموجة الأصلية (f_1).

2^{nd} harmonic: المركبة الثابتة للموجة بعد الأساسية وتدعى كذلك التوافق الثاني وترددها $f_2=2.f_1$ وهكذا بالنسبة لبقية الحدود.

والغاية من هذا هو السماح بإيجاد مركبات الموجة في المجال الترددي كما تسمح بإيجاد عرض نطاقها.

أما الثوابت B_n .... B_2, B_1, A_n .... , A_1 , A_0

فهي تحسب باستعمال العلاقات التالية:

$$A_0 = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)\,dt \qquad (1\text{-}11)$$

$$A_n = \frac{2}{T}\int_0^T v(t)\cos(nwt)\,dt \qquad (1\text{-}12)$$

$$B_n = \frac{2}{T}\int_0^T v(t)\sin(nwt)\,dt \qquad (1\text{-}13)$$

هناك حالات خاصة للمعادلة (7-1) فإذا كانت دالة V(t) دالة زوجية فإن العلاقة (9-1) تختصر إلى ما يلي:

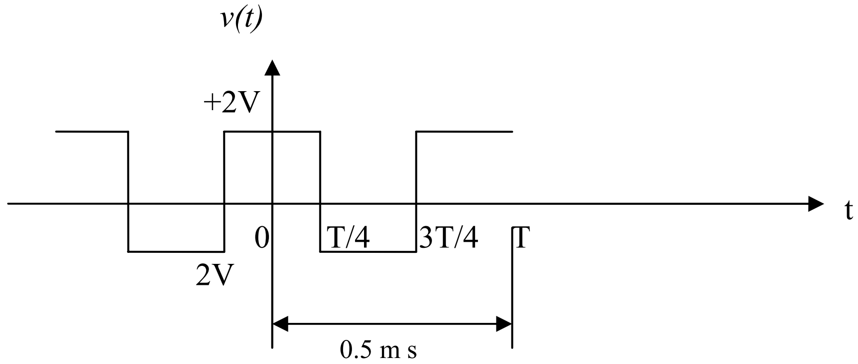
$$V(t) = A_0 + A_1\cos wt + A_2\cos 2wt + ... t A_n\cos nwt \qquad (1\text{-}14)$$

أما إذا كانت *V(t)* دالة فردية فإن العلاقة (1-9) تختصر إلى ما يلي:

$$V(t) = A_0 + B_1 \sin wt + B_2 \sin 2wt + \ldots t B_n \sin nwt \qquad \textbf{(1-15)}$$

مثال ١- ٣

لدينا موجة النبضات الدورية المبينة بالشكل أوجد سلسلة فورييه للمركبتين الأوليتين (التوافقين الأولين).



١. أوجد التردد للمركبة الأساسية.

٢. أوجد التردد للمركبة الثانية (التوافق الثاني).

٣. ارسم الطيف الترددي للجهد.

الحل:

١. لإيجادسلسلة فورير للمركبتين الأوليتين (التوافقين الأولين) نتبع الخطوات التالية:

$$v(t) = A_0 + A_1 \cos(wt) + A_2 \cos(2wt) + \ldots + A_n \cos(nwt)$$

$$A_o = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)\,dt = \frac{1}{T}\int_0^{\frac{T}{4}} 2\,dt + \frac{1}{T}\int_{\frac{T}{4}}^{\frac{3T}{4}} -2\,dt + \frac{1}{T}\int_{\frac{3T}{4}}^{T} 2\,dt = 0$$

$$A_1 = \frac{2}{T}\int_0^T v(t)\cos(\quad t)\,dt =$$

$$A_1 = \frac{2}{T}\left[\int_0^{\frac{T}{4}} 2\cos(wt)\,dt + \int_{\frac{T}{4}}^{\frac{3T}{4}} -2\cos(wt)\,dt + \int_{\frac{3T}{4}}^{T} 2\cos(wt)\,dt\right] = \frac{8}{\pi}$$

باستخدام نفس الخطوات السابقة نحصل على

$$A_2 = 0 \qquad \& \qquad A_3 = -\frac{8}{3\pi}$$

إذاً سلسلة فورير للمركبتين الأوليتين تعطى كمايلي:

$$v(t) = \frac{8}{\pi}\cos(\omega t) - \frac{8}{3\pi}\cos(3\omega t)$$

لإيجاد التردد للمركبة الأساسية نتبع مايلي:

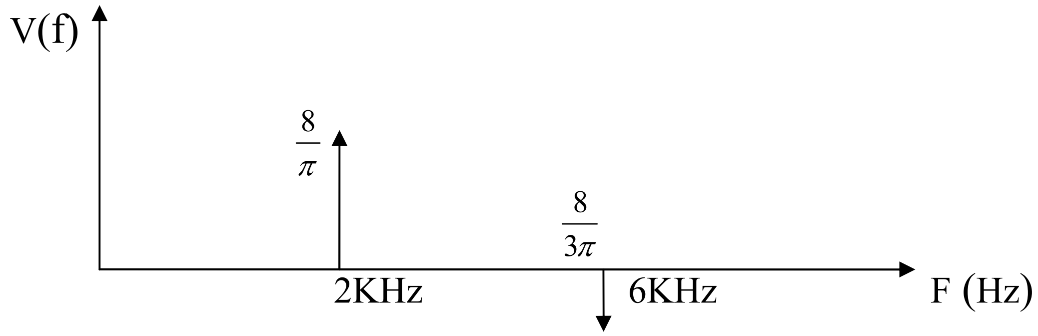
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.5\times 10^{-3}} = 2000\ Hz$$

f=2KHz

٢. لإيجاد التردد للمركبة الثانية نتبع مايلي:

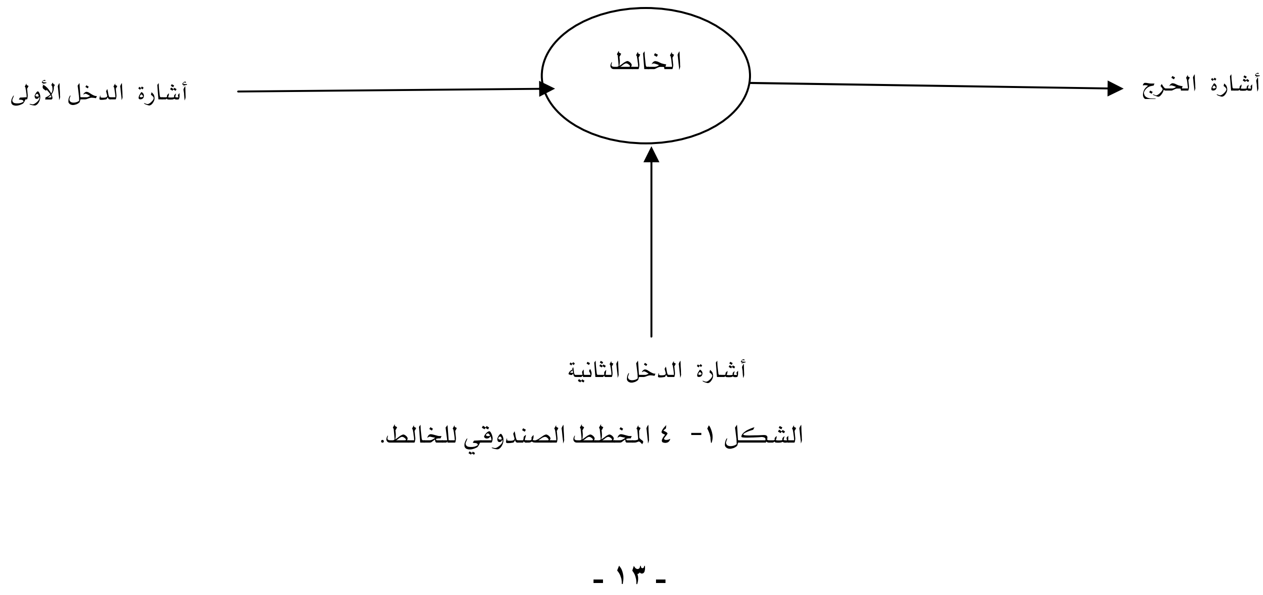
$f_s = 3f = 3\text{x}2K = 6KHz$

٣. رسمة الطيف الترددي للجهد



١- ٧ الخلط Mixer

الخالط هو عبارة عن دائرة أو جهاز عادتاً غير خطي لـه دخلـين و خـرج واحـد يعـل علـى نقـل أو تغيـر موقع الترادادات على خط الطيف الترددي كما موضح بالشكل ١- ٤. إذا كـان نـاتج عمليـة الخلـط هـي تحويل الترادادات من تردد أقل إلى تردد أعلـى فتسـمى عمليـة الخلـط هـذه بالتحويـل العلـوي و امـا إذا كـان ناتج عملية الخلط هي تحويل الترادادات من تردد أعلـى إلى تـردد أقـل فتسـمى عمليـة الخلـط هـذه بالتحويـل السفلي.



الشكل ١- ٤ المخطط الصندوقي للخالط.

لنفرض أن اشارة الدخل الأول في شكل ١- ٤ لها تردد f_s و اشارة الدخل الثاني لها تردد f_o ، فإن تردد اشارة الخرج سوف يصبح (f_o+f_s) في حالة التحويل العلوي و (f_o-f_s) في حالة التحويل السفلي.

١-٨ الضوضاء (التشويش) Noise

يعتبر الضوضاء أحد العوائق الرئيسة لأنظمة الاتصالات وكما يقال لولا الضوضاء لاستطعنا أن نرسل المعلومة إلى أبعد ما يمكن. ويعرّف على أنه الطاقة غير المرغوب فيها التي تنشأ ضمن مختلف عناصر أنظمة الاتصالات لتشارك الإشارة الأصلية بالمرور عبر هذه العناصر.

ينقسم الضوضاء إلى نوعين رئيسين هما:

١-٨-١ الضوضاء غير المرتبط بالإشارة Uncorrelated Noise

وهو عبارة عن الضوضاء الذي ليس له علاقة بالإشارة الأصلية المطلوب نقلها عبر أنظمة الاتصالات، وهو ينقسم إلى قسمين:

أ. الضوضاء الخارجي External Noise

وهو عبارة عن الضوضاء الذي يتولد من طرف مصادر خارجية أي ليس له علاقة بالدوائر الإلكترونية المستخدمة في أنظمة الاتصالات لكن يؤثر فيها وكمثال على ذلك: ضوضاء الغلاف الجوي، وضوضاء أشعة الشمس، وضوضاء الأشعة الكونية، والضوضاء الناتجة من صنع الإنسان.

ب. الضوضاء الداخلي (Internal Noise)

ويقصد به التأثيرات الغير المرغوب فيها الناتجة عن مكونات الدوائر الإلكترونية، مثل المقاومات وغيرها، والتي تؤثر على الموجة الأصلية المطلوب نقلها أثناء عبورها عبر هذه الدوائر. وللضوضاء الداخلي أشكال متعددة تنتج عن أسباب مختلفة وكمثال على ذلك ضوضاء جونسون Johnson Noise وينشأ بسبب ارتفاع درجة الحرارة في مكونات الدوائر الكهربائية.

فارتفاع درجة الحرارة يزيد الحركة العشوائية للذرات والإلكترونيات في المادة. ويؤدي ذلك إلى إشعاع طاقة كهرومغناطيسية تظهر على هيئة جهد ضوضاء غير مرغوب فيه. ويقع جهد الضوضاء هذا ضمن ما يسمى بالضوضاء الأبيض White Noise ، أي الذي يشمل جميع الترددات. ويزداد هذا الضوضاء كلما ازداد عرض نطاق ترددات نظام الاتصالات. أما المثال الثاني على الضوضاء الداخلي فيتمثل في الضوضاء الناتج عن مشاكل التغذية الكهربائية لمكونات الدوائر الإلكترونية في أنظمة الاتصالات. ويتضمن هذا الضوضاء أثر الطلقة.Shot noise وضوضاء التقسيم Partition noise. ويقصد بأثر الطلقة الجهد المتغير الناتج عن تغير تيار التغذية الكهربائية في الوقت الذي يفترض بهذا التيار أن يكون ثابتاً. أما ضوضاء التقسيم فهو الذي ينتج عن اختلال توزع تيار التغذية بين فروع الدائرة التي يغذيها. وهناك أشكال أخرى كثيرة من الضوضاء الداخلي مثل ضوضاء زمن التحول transit noise الذي ينشأ عن

تماثل زمن حركة الإلكترونيات بين أطراف دائرة كهربائية مع دور الموجة المطلوبة التي تعبر الدائرة، والضوضاء الناتج عن الحقول المغناطيسية لمحولات الربط في المضخات.

١-٨-٢ الضوضاء المرتبط بالإشارة Correlated Noise

هو عبارة عن الضوضاء المرتبط بالإشارة الأصلية التي تعبر الدوائر الإلكترونية التي تدخل في تكوين نظام اتصالات. هذا النوع من الضوضاء لا يمكن أن يتواجد في الدائرة بدون تواجد الإشارة ولهذا يقال لا إشارة، لا ضوضاء . وإن الضوضاء المرتبط بالإشارة ينتج عن طريق التضخم اللاخطي ويشمل كل من الضوضاء الناتج عن المركبات التموجية والضوضاء الناتج على التشوه الذي يحدث أثناء عملية التعديل.

نود التنبيه على أن الضوضاء الناتج عن الغلاف الجوي والصادر عن العواصف الرعدية thunderstorms تؤثر تأثيراً مباشراً على البث الإذاعي الذي يستخدم Amplitude Modulation: AM. والسبب في ذلك يعود على أن الموجات الناتجة من العواصف الرعدية تتناسب عكسياً مع التردد الواقع في المجال أقل من 100MHz. أي كلما قل التردد كلما زاد الضوضاء. لكنه أقل تأثيراً على البث الإذاعي والتلفزيوني الذي يستخدم FM : Frequency Modulation حيث مجال تردداته [88MHz – 108 MHz].

لنعود الآن قليلاً إلى الوراء ونقوم بدراسة تفصيلية لنوع مهم في الضوضاء والذي لا تخلو منه أي دائرة إلكترونية هذا النوع هو الضوضاء الحراري Thermal noise ويطلق عليه ضوضاء جونسن. حيث استطاع الباحث Johnson أن يبرهن على أن طاقة الضوضاء الحراري تتناسب طردياّ مع عرض النطاق ودرجة الحرارة. يمكن التعبير عليه بالعلاقة الرياضية التالية:

$$N = KTB \qquad (1\text{-}16)$$

حيث:

N : طاقة الضوضاء (Watts)

B: عرض النطاق (Hz)

T : درجة الحرارة (Kelvin)

ولتحويل من درجة حرارة عادية إلى Kelvin لتستعمل العلاقة التالية:

$$T = C^\circ + 273$$

K: ثابت بولتزمان $K = 1.38 \times 10^{-23}\left(\frac{Joules}{Kelvin}\right)$

أمـا إذا أردنـا أن نعـبر علـى الطاقـة بوحـدة ديسـبال Decibel ويرمـز لـه عـادة بـdB، فنأخـذ الدالـة اللوغارتمية في الأساس 10 للمعادلة (16-1) مضروباً في العدد 10. أي:

$$N_{dB} = 10\ Log\ (\ KTB\ ) \qquad [\ dB] \qquad (1\text{-}17)$$

حيث:

N_{dB}: طاقة الضوضاء بالديسيبل.

مثال ١- ٤

إذا كان جهاز إلكتروني يشتغل عند درجة الحرارة °17 وعرض نطاق 10 كيلوهرتز.

احسب ما يلي:

أ- طاقة الضوضاء بالواط.

ب- طاقة الضوضاء بالديسيبل.

الحل:

أ. طاقة الضوضاء بالوات

$$N = KTB = 1.38 \text{ X } 10^{-23} \text{ X } (17+273) \text{ X } 10 \text{ X } 10^{3} = 4 \text{ X}10^{-17} \text{Watts}$$

ب. طاقة الضوضاء بالديسيبل

$$N_{dB} = 10 \text{ Log } (\text{ KTB }) = 10 \text{ Log } (4\ X10^{-17}) \approx -164 \text{ dB}$$

١- ٩ نسبة الإشارة إلى الضوضاء Signal – to – Noise ration

إن عامل نسبة الإشارة إلى الضوضاء كثيراً ما يستعمل في تباين آداء أنظمة الاتصالات. فكلما زادت هذه النسبة كلما ازدادت كفاءة نظام الاتصالات. تعرض هذه النسبة كحاصل قسمة قدرة الإشارة إلى قدرة الضوضاء. يعبر عليها رياضياً بالعلاقة التالية:

$$\frac{S}{N} = \frac{P_s}{P_n} \qquad (1\text{-}18)$$

ويمكن التعبير على هذه النسبة بواسطة الديسيبل

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 10Log\left(\frac{P_s}{P_n}\right) \qquad (1\text{-}19)$$

حيث :

$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB}$: نسبة قدرة الإشارة إلى قدرة الضوضاء بالديسيبل.

P_s : قدرة الإشارة و **تعطى بـ**(Watts).

P_N : قدرة الضوضاء و **تعطى بـ** (Watts).

و يمكنك بكل بساطة أن تثبت العلاقات التالية عندما تتعامل مع كل من الجهد والتيار فإن النسبة تعطى بالعلاقة التالية:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 20Log\left(\frac{V_s}{V_n}\right) \qquad (1\text{-}20)$$

و

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 20Log\left(\frac{I_s}{I_n}\right) \qquad (1\text{-}21)$$

مثال ١- ٥

إذا كانت طاقة إشارة خرج مضخم تساوي 10W والطاقة لضوضاء إشارة الخرج تساوي 0.01W ، أوجد :

أ. نسبة طاقة الإشارة إلى طاقة الضوضاء $\left(\frac{S}{N}\right)$.

ب. نسبة طاقة الإشارة إلى طاقة الضوضاء مقدرة بالديسيبل $\left(\frac{S}{N}\right)_{dB}$.

الحل:

أ. $$\frac{S}{N} = \frac{P_s}{P_n} = \frac{10}{0.01} = 1000$$

ب. $$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 10Log\left(\frac{P_s}{P_n}\right) = 10Log(1000) = 30dB$$

تمارين

التمرين الأول

أ. عرف الاتصالات الإلكترونية.

ب. ما هي العناصر الثلاثة الأساسية لنظام الاتصالات ؟

ج. ارسم شكلاً توضيحياً لنظام الاتصالات مع كتابة العناصر الأساسيةعلى الشكل.

د. اذكر الأنواع الأساسية لأنظمة الاتصالات.

التمرين الثاني

أ. عرف ما يلي: إشارة التعديل، والموجة الحاملة، والموجة المعدَلة، والإشارة المستخلصة.

ب. عرف التعديل وكشف التعديل.

ج. اشرح لماذا عملية التعديل عملية ضرورية في الاتصالات.

التمرين الثالث

أ. اذكر الخواص الأساسية التي يمكن تغييرها في الموجة الجيبية وما هي أنواع التعديل الناتجة عن ذلك ؟ وعرف كل نوع.

ب. عرف عرض النطاق.

ج. اذكر أنواع عرض النطاق.

د. عرف كل نوع من هذه الأنواع.

التمرين الرابع:

أ. اذكر أنماط الإرسال.

ب. عرف كل نمط من أنماط الإرسال.

ج. أعط أمثلة تطبيقية على كل نمط من أنماط الإرسال .

التمرين الخامس

أ. عرف الضوضاء.

ب. اذكر الأقسام الرئيسة للضوضاء وأعط تعريفاً لكل قسم.

ج. أعط أمثلة من الضوضاء على كل قسم.

د. لماذا يؤثر الضوضاء الناتج من العواصف الرعدية على البث الإذاعي الذي يستخدم Amplitude Modulation ولا يؤثر على البث الإذاعي والتلفزيوني الذي يستخدم Frequency Modulation.

التمرين السادس

إذا كان جهاز الحاسوب يشتغل عند درجة الحرارة 27° بعرض نطاق قدرة 5 كيلو هرتز.

أ. هل جهاز الحاسوب يتعرض إلى عملية الضوضاء.؟

ب. ما هو نوع هذا الضوضاء، أعط تعريفاً له وكيفيته ؟

ج. أحسب طاقة الضوضاء بالوات.

د. أحسب طاقة الضوضاء بالديسيبل.

التمرين السابع:

أثبت صحة العلاقات (1-18) و (1-19).

التمرين الثامن

إذا كانت طاقة إشارة الخرج من جهاز ما 20 وات وطاقة إشارة الضوضاء عند الخرج تساوي 0.02 وات.

أ. احسب نسبة طاقة الإشارة إلى طاقة الضوضاء.

ب. احسب هذه النسبة بالديسيبل.

التمرين التاسع

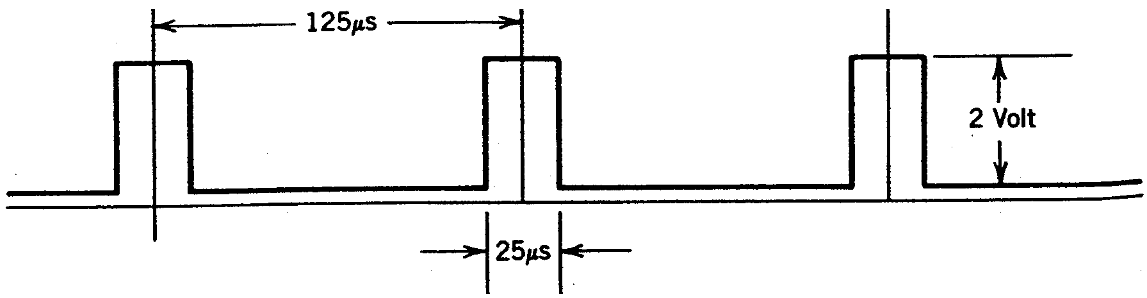
أ. ما هي الغاية المرجوة من دراسة نشر فورييه.

ب. أعط سلسلة فورييه لموجة $V(t)$ وكيفية حساب الثوابت التي تدخل في تكوينها.

ج. على أي شكل يمكن كتابة هذه السلسلة وما هي الفائدة من وراء ذلك.

التمرين العاشر:

لدينا موجة النبضات الدورية المبينة في الشكل



أ. ما هو دور هذه الموجة T

ب. احسب التردد f.

ج. احسب سرعتها الزاوية ω

د. ما هو الزمن الفعلي للنبضة.

هـ. أوجد نشر فورير للحدود الخمسة الأولى.

ه. أوجد تردد لكل مركبة من المركبات الخمسة.

و. ارسم الطيف الترددي للجهد.

أساسيات الاتصالات

تعديل السعة

الوحدة الثانية: تعديل السعة
Amplitude Modulation (AM)

- **الهدف**

عند نهاية هذه الوحدة باستطاعة المتدرب معرفة :

أ. معرفة أهمية عملية التعديل.

ب. معرفة الفرق بين إشارة التعديل والإشارة المعدَلة.

ج. التعرف على التعديل الاتساعي(السعة).

د. توليد موجة AM نظرياً.

ه. التعرف على خصائص الإرسال لتعديل السعة.

و. التعرف على خصائص الإستقبال لتعديل السعة.

ز. حساب معامل ونسبة التعديل.

- **محتوى الوحدة الثانية :**

٢- ١ مبادئ تعديل السعة.

٢- ٢ دوائر تعديل السعة.

٢- ٣ مرسلات معدل السعة.

٢- ٤ رسم تخطيطى لدوائر إستقبال تعديل السعة.

٢- ٥ عناصر المستقبل.

٢- ٦ مستقبلات تعديل السعة.

عدد الساعات المطلوبة لتدريس هذه الوحدة : ١٥ساعة.

٢-١ مقدمة

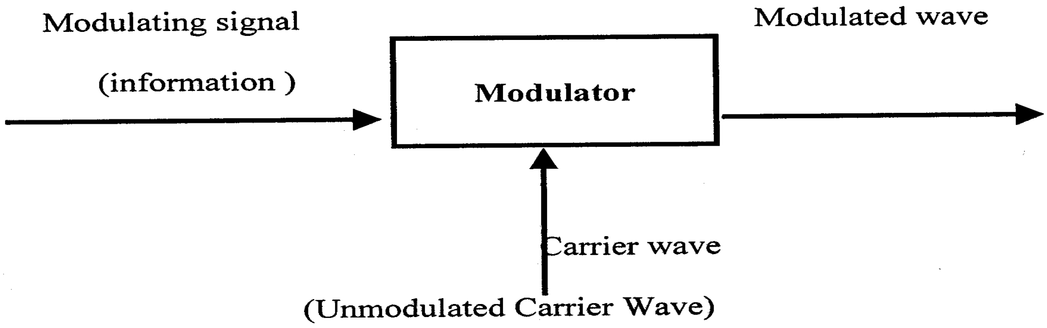
إن معظم إشارات النطاق الترددي الأساسي الناشئة عن مصادر المعلومات المختلفة لا تكون دائماً مناسبة للنقل عبر قنوات الاتصالات المتاحة، ولهذا فإن هذه الإشارات تعدل عادة لتسهيل عملية النقل وتعرف هذه العملية بالتعديل حيث من خلالها تُعدل إشارة المعلومات الأساسية $V_m(t)$ على بعض خصائص الإشارة الحامله ذات التردد العالي $V_c(t)$. الإشارة الحاملة هي عبارة عن إشارة موجية عالية التردد يطلق عليها كلمة حامل (Carrier) ويتم تعديل أحد خواصها مثل السعة، أوالتردد ، أوالطور بمقدار يتناسب مع إشارة المعلومات الأساسية $V_m(t)$ لكي نحصل على تعديل السعة (AM) أو تعديل تردد (FM) أو تعديل الطور (PM) تباعاً.

و كما إن التعديل يتشكل في قسم الإرسال، فإن إحدى هذه الموجات الثلاث (AM, FM, PM)، تبعاً لنوعية التعديل، هي التي ترسل من قسم الإرسال إلى قسم الاستقبال. وفي جهاز الاستقبال تمر الموجة بعملية عكسية تسمى إزالة التعديل (demodulation) وذلك لاستخلاص إشارة المعلومات الأساسية المرسلة.

فمن خلال هذه الوحدة، سنقوم بدراسة شاملة للنوع الأول من التعديل الذي يتمثل في تعديل السعة (AM).

٢-٢ أساسيات تعديل السعة Amplitude Modulation

تعديل السعة **(AM)**: هو تغيير اتساع الموجة الجيبية الحاملة ذات التردد المرتفع حيث يتناسب طردياً مع إشارة المعلومات الأساسية $V_m(t)$. شكل ٢- ١ يعطينا وصف مبسط لتعديل السعة حيث يتألف من المعدَل السعوي (Modulator)، و إشارة المعلومات $V_m(t)$، و الموجة الحاملة $V_c(t)$، و أخيراً الموجة المعدَلة.



الشكل ٢- ١ : رسم توضيحي للمعدَل السعوي.

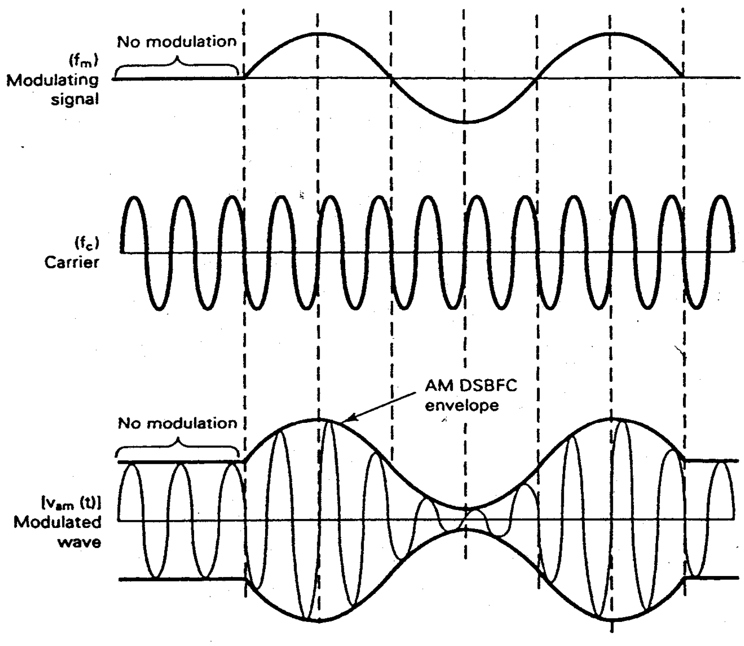
٢- ٢- ١ المعدَل السعوي AM Modulator

هو عبارة عن جهاز غير خطي ذي دخلين إحداهما مخصص لإشارة المعلومات والآخر مخصص للموجة الحاملة، وخرج نحصل عن طريقه على الموجة المعدَلة (Modulated wave) كما هو موضح في شكل٢- ١ .

٢- ٢- ٢ توليد إشارات تعديل السعة (الاتساع) Generation of AM Signals

على الرغم من وجود عدة أنواع من إشارات تعديل السعة، فإن النطاق الجانبي المزدوج ذا الموجة الحاملةالكاملة Amplitude Modulation Double Sideband Full Carrier (AM DSBFC) هو الأكثر استعمالاً " AM DSBFC" في بعض الأحيان تستخدم بدلاً عنها AM للتبسيط.

إن العلاقة بين إشارة المعلومات الأساسية $V_m(t)=E_m\ Sin(2\pi\ f_mt)$ ، و إشارة الموجة الحاملة $V_c(t)=E_c\ Sin(2\pi f_ct)$ والإشارة و الموجة الناتجة عن عملية التعديل $V_{AM}(t)$ موضحة في الشكل ٢- ٢ التي سوف نحدد طبيعتها الرياضية من خلال هذه الوحدة عند تناولنا دراسة توزيع الجهد لإشارة تعديل السعة. إن الشكل ٢- ٢ يبين كيفية إنتاج موجة AM، وذلك عندما إشارة المعلومات ذات التردد المنخفض تؤثر في الإشارة الحاملة ذات التردد العالي. نلاحظ كما هو مبين في الشكل ٢- ٢ أنه عند انعدام إشارة المعلومات التي نطلق عليها من الآن فصاعداً إشارة التعديل، فإن الموجة الناتجة هي فقط الموجة الحاملة. ونظراً لأن من الصعوبة نقل الإشارات بشكل عام عند الترددات المنخفضة فإن إنتاج موجة AM بواسطة التعديل تسمح بنقل إشارة المعلومات خلال جهاز نظام الاتصالات.



الشكل ٢- ٢ إنتاج الموجة المعدَلة، من الأعلى إلى الأسفل إشارة المعلومات، والإشارة الحاملة وموجة AM.

٢- ٢- ٣ خصائص الموجة المعدَلة Modulated Wave Characteristics

تتميز الموجة الناتجة عن طريق عملية التعديل (الموجة المعدَلة) بما يلي:

١- الموجة المعدَلة $V_{AM}(t)$ لها نفس تردد الموجة الحاملة (f_c).

٢- التغير الذي يطرأ على سعة الموجة المعدَلة $V_{AM}(t)$ أثناء عملية التعديل يساوي التغيير الذي يحدث

لسعة إشارة التعديل (إشارة المعلومات الأساسية $V_m(t)$).

٣- تردد الغلاف الخارجي (الكاشف) للموجة المعدَلة $V_{AM}(t)$ يساوي تردد إشارات التعديل $V_m(t)$.

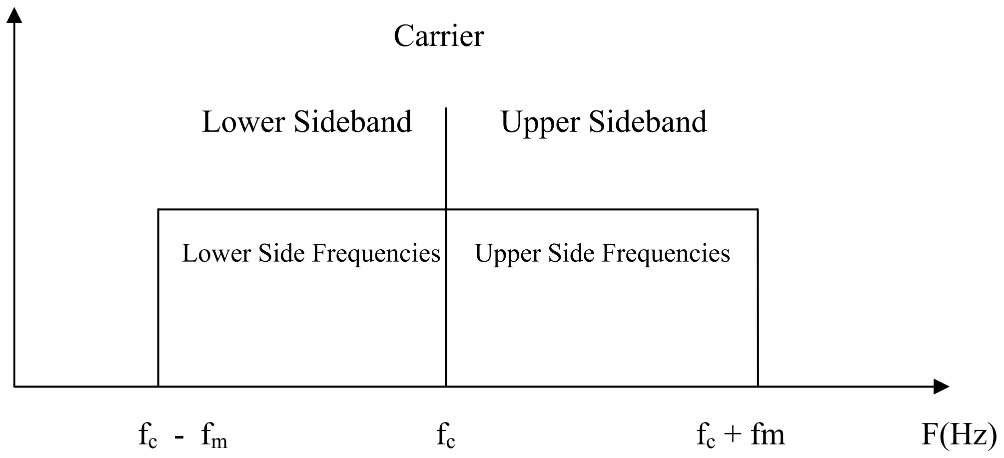
٤- سعة الغلاف الخارجي (الكاشف) للموجة المعدَلة $V_{AM}(t)$ تساوي سعة إشارة التعديل $V_m(t)$.

٢-٣ الطيف الترددي وعرض النطاق لتعديل السعة

AM Frequency Spectrum and Bandwidth

٢- ٣- ١ الطيف الترددي AM Frequency Spectrum

كما ذكرنا آنفاً أنه من الصعوبة إرسال الإشارات ذات الترددات المنخفضة، لأن هذا يتطلب هوائية تبلغ من الضخامة حداً غير معقول، لأن طول هوائي الإرسال يجب أن يكون في حدود (10٪) من طول موجة الإشارة المرسلة. لهذا السبب فإن إزاحة طيف الإشارة إلى مدى ترددي مرتفع بواسطة التعديل يعتبر شيئاً مرغوباً. فمن هنا نقول إن تأثير عملية التعديل هو إزاحة تردد إشارة المعلومات في المجال الطيفي حيث ينعكس بالتساوي حول محور تردد الموجة الحاملة (f_c) كما هو موضح في الشكل٢- ٣.



الشكل ٢- ٣ الطيف الترددي لموجة AM

نلاحظ من الشكل ٢- ٣ أن طيف الموجة المعدَلة والمتمركز عند التردد f_c يتكون مما يلي:

عرض النطاق الجانبي العلوي Upper Sideband (USB)

هو عبارة عن عرض النطاق المحصور بين الترددين f_c و f_c+f_m (النهاية الترددية) كما هو موضح قي المعادلة التالية :

$$f_c \le USB \le f_c + f_m \qquad (2\text{-}1)$$

وكل إشارة لها تردد f_m يقع في USB فإنه يدعى تردد الجانب العلوي Upper Side Frequency (USF) ويرمز لها بـ USF ومعطاة بالعلاقة التالية:

$$f_{usf} = f_c + f_m \qquad (2\text{-}2)$$

حيث :

f_{USF}: تردد الجانب العلوي

f_c: تردد الموجة الحاملة

f_m: تردد إشارة التعديل (إشارة المعلومات الأساسية).

عرض النطاق الجانبي السفلي: Lower Sideband (LSB)

هو عبارة عن النطاق (النهاية الترددية) المحصور بين:

$$f_c - f_m \le LSB \le f_c \qquad (2\text{-}3)$$

وكل إشارة لها تردد f_m يقع في LSB فإنه يدعى تردد الجانب السفلي Lower Side Frequency (LSF) ويرمز لها بـ LSF وهو معطى بالعلاقة التالية:

$$f_{Lsf} = f_c - f_m \qquad (2\text{-}4)$$

٢- ٣- ٢ عرض النطاق لتعديل السعة AM Bandwidth

إن عرض نطاق إشارة التعديل الاتساعي (السعوي) يمكن أن تستخرج تبعاً للشكل٢- ٣ كما يلي:

$$BW_{AM} = (f_c + f_m) - (f_c - f_m) = 2 f_m$$

إذا عرض نطاق موجة AM هو:

$$BW_{AM} = 2 f_m \quad [Hz] \qquad (2\text{-}5)$$

حيث :

BW_{AM}: هو عرض نطاق موجة AM ويعطى بالهرتز**(Hz)**.

f_m: تردد إشارة التعديل (المعلومات) بالهرتز**(Hz)**.

مثال ٢- ١

إذا كان لدينا جهاز التعديل (المعدَل السعوي AMDSBFC modulator) ذو الدخلين، الأول الموجه الحاملة ذات تردد f_c=100kHz و الثاني موجة المعلومات الأساسية ذات تردد f_m= 5kHz.

احسب ما يلي:

أ. النهايات الترددية لكل من USB و LSB.

ب. عرض النطاق BW_{AM}

ج. التردد الجانبي العلوي (USF) عندما f_m = 3kHz .

د. التردد الجانبي السفلي (LSF) عندما f_m = 3kHz.

ه. ارسم الطيف الترددي للخرج.

حل المثال ٢- ١

أ. نوجد النهاية الترددية لـ USB من المعادلة (2-1)

$$f_c \leq USB \leq f_c + f_m$$

$$100 \ kHz \leq USB \leq 105 \ KHz$$

و نوجد النهاية الترددية لـLSB من المعادلة (2-3)

$$f_c - f_m \leq LSB \leq f_c$$

$$95 \ KHz \leq LSB \leq 100 \ KHz$$

ب. حسب المعادلة (2-5) فإن

جـ. حسب المعادلة (2-2)

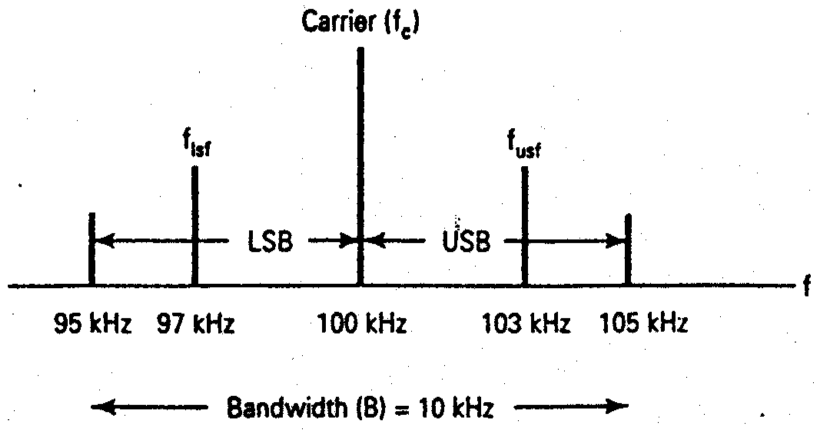
$$f_{usf} = f_c + f_m = 100 \ KHz + 3 \ KHz = 103 \ KHz$$

د. حسب ا لمعادلة (2-4)

$$f_{Lsf} = f_c - f_m$$
$$= 100 \text{ KHz} - 3 \text{ KHz} = 97 \text{ KHz}$$

هـ. رسم الطيف الترددي

$$BW_{AM} = 2 f_m = 2 \times 5 \ KHz = 10 \ KHz$$



٢-٤ معامل التعديل والنسبة المئوية لتعديل السعة

Coefficient of Modulation and Percent Modulation

٢- ٤- ١ معامل التعديل Coefficient of Modulation

هو عبارة عن معامل نستطيع من خلاله قياس ما مدى التغير الذي يحدث في سعة موجة AM أثناء عملية التعديل. ويعبر عليه رياضياً بالعلاقة التالية:

$$m = \frac{E_m}{Ec} \tag{2-6}$$

حيث

m: معامل التعديل (بدون وحدة)

E_m: سعة إشارة المعلومات الأساسية $Vm(t)$ وتقاس بالفولت.

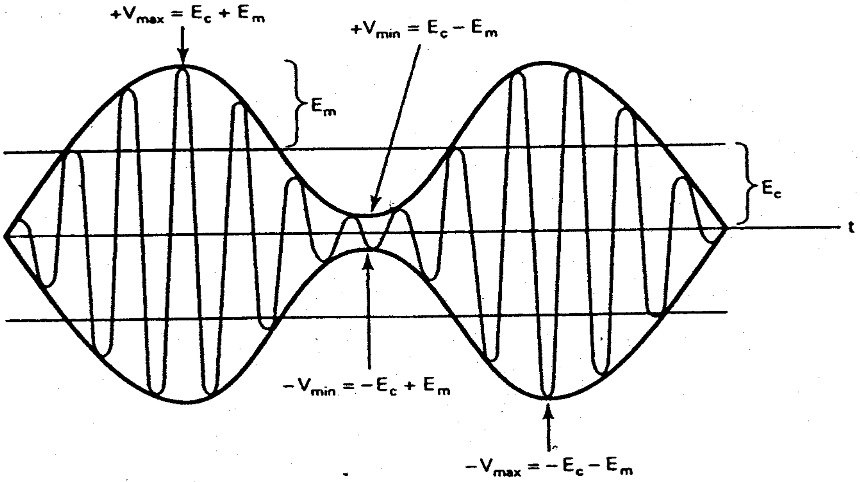
E_c: سعة الموجة الحاملة $Vc(t)$ و تقاس بالفولت.

٢- ٤- ٢ النسبة المئوية للتعديل Percent Modulation (M)

هي عبارة عن النسبة المئوية لمعامل التعديل، حيث تعطى بالعلاقة التالية:

$$M = \frac{E_m}{E_c} \times 100 \quad \% \tag{2-7}$$

العلاقة بين m , E_m , E_c مبينة في الشكل٢- ٤.



الشكل ٢- ٤ يوضح معامل التعديل، E_c و E_m .

من الشكل٢- ٤ نستنتج ما يلي:

$$V_{max} = E_c + E_m \tag{2-8}$$

$$V_{min} = E_c - E_m \tag{2-9}$$

بجمع المعادلتين (2-8) , (2-9) طرف إلى طرف نجد

$$E_c = \frac{1}{2}\left(V_{max} + V_{min}\right) \qquad (2-10)$$

ثم بطرح المعادلة 8-2 من 9-2 نجد

$$E_m = \frac{1}{2}\left(V_{max} - V_{min}\right) \qquad (2-11)$$

حيث

V_{max} : يمثل قيمة الجهد الأقصى لموجة AM

V_{min} : يمثل قيمة الجهد الأدنى لموجة AM

لقد سبق أن بينا بأن الموجة المعدَلة (موجه AM) تتكون من الجانب العلوي والجانب السفلي، فبالتالي أي تغيير يطرأ على الموجة المعدَلة هو ناتج من كلا الجانبين وهذا يقودنا إلى التعيير على E_m بما يلي:

$$E_m = E_{USF} + E_{LSF} \qquad (2-12)$$

حيث:

E_{USF}: جهد الجانب العلوي [Volts]

E_{LSF} : جهد الجانب السفلي [Volts]

أي المعادلة (12-2) تنص على أن التغيير الأقصى في الجهد الذي يطرأ على الموجة المعدَلة هو حاصل جمع مركبتي الجهد الناتجين من الجانب العلوي والجانب السفلي.

بما أن

$$E_{USF} = E_{LSF} \qquad (2-13)$$

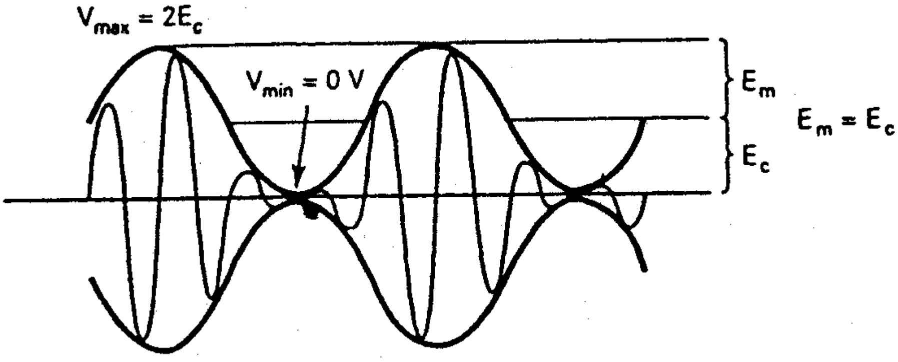
نعوض المعادلة (13-2) في المعادلة (12-2) نجد

$$E_{USF} = E_{LSF} = \frac{E_m}{2} \qquad (2-14)$$

ثم نعوض (11-2) في المعادلة (14-2) لكي نخلص إلى ما يلي:

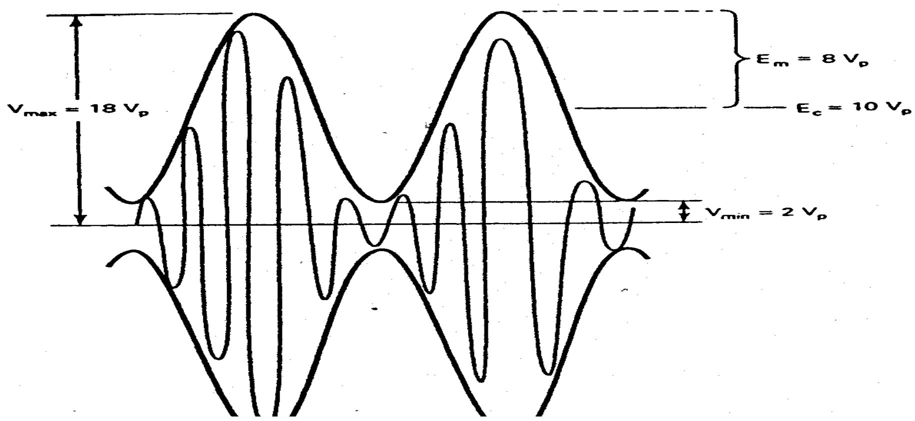
$$E_{USF} = E_{LSF} = \frac{1}{4}\left(V_{max} - V_{min}\right) \qquad (2-15)$$

نود أن التنبيه إلى أنه من المعادلة (7-2) يتضح أن نسبة التعديل تصل إلى 100% عندما $E_m=E_c$ و في هذه الحالة نستطيع القول من المعادلة (8-2) أن $V_{max}=2E_c$ وكذلك من المعادلة(9-2) أن $V_{min}=0$ كما هو موضح في الشكل٢- ٥.



الشكل ٢- ٥ يوضح موجة AM عندما تبلغ نسبة التعديل 100%.

مثال ٢- ٢ من أجل موجة AM المبينة في الشكل التالي



أوجد ما يلي:

أ- السعة القصوى للجانب العلوي E_{USF} والسفلي E_{LSF}.

ب- السعة القصوى للموجه الحاملة قبل التعديل $(Ec)_{unmod.}$.

ج- التغيير الأقصى في سعة الغلاف الخارجي لموجة AM E_m

د- معامل التعديل **m**.

هـ- نسبة التعديل **%M**.

الحل

أ- بتطبيق المعادلة (2-15) وبالرجوع إلى الشكل المعطى في المثال:

$$E_{USF} = E_{LSF} = \frac{1}{4}(V_{max} - V_{min}) = \frac{1}{4}(18 - 2) = 4V$$

ب- السعة القصوى للموجه الحاملة قبل التعديل تساوي السعة القصوى للموجه الحاملة بعد التعديل

أي $(Ec)_{unmod.} = (Ec)_{mod.}$

و بتطبيق المعادلة (2-10)

$$E_c = \frac{1}{2}(V_{max} + V_{min}) = \frac{1}{2}(18 + 2) = 10V$$

أو تقرأ مباشرة من الشكل E_c=10V

ج- بتطبيق المعادلة (2-11)

$$E_m = \frac{1}{2}(V_{max} - V_{min}) = \frac{1}{2}(18 - 2) = 8V$$

د- بتطبيق المعادلة (2-6)

$$M = \frac{E_m}{E_c} = \frac{8}{10} = 0.8$$

هـ- بتطبيق المعادلة (2-7)

$$M = \frac{E_m}{E_c} \times 100\ \% = 0.8 \times 100\ \% = 80\ \%$$

٢-٥ توزيع جهد موجة AM

AM Voltage Distribution (AM) $V_{am(t)}$

كما هو معروف لكل موجة كهربائية تحمل في طياتها، جهد، تيار، وطاقة، من خلال هذا الجزء نريد أن نعبر رياضياً عن توزيع جهد موجة تعديل السعة $V_{am}(t)$. حتى يتسنى لنا ذلك، نعبر عن الجهد اللحظي الجيبي للموجه الحاملة قبل التعديل بالمعادلة الرياضية التالية:

$$V_c(t) = E_c \sin(2\pi f_c t) \qquad (2\text{-}16)$$

حيث

$V_c(t)$: هو الجهد اللحظي للموجة الحاملة (Volts)

E_c: السعة القصوى للموجةالحاملة قبل التعديل (Volts)

f_c: تردد الموجة الحاملة (Hz).

لقد مر معنا ما يلي:

أ- معدل الإعادة (repetition rate) لغلاف الخارجي لموجة $V_{am}(t)$ يساوي تردد إشارة التعديل (المعلومات)$V_m(t)$.

ب- سعة الغلاف الخارجي لموجة $V_{am}(t)$تتغير تبعاً لسعة إشارة التعديل $V_m(t)$.

ج- السعة القصوى لغلاف الخارجي لموجة $V_{am}(t)$ تساوي $V_{max} = E_m+E_c$ ،

ومن هنا يمكن التعبير على السعة اللحظية لموجة $V_{am}(t)$ بالعلاقة الرياضية التالية:

$$V_{am}(t) = \left[Ec + E_m \sin(2\pi f_m t)\right] \sin 2\pi f_c t \qquad (2\text{-}17)$$

حيث

$\left[Ec + E_m \sin(2\pi f_m t)\right]$: تمثل سعة الموجة المعدَلة (Volts)

E_m: التغيير الأقصى في الغلاف (Volts)

f_m: تردد إشارة التعديل (Hz)

من المعادلة (2.6) يمكن أن نكتب

$$E_m = mE_c \qquad (2\text{-}18)$$

بتعويض المعادلة (2.18) في المعادلة (2.17) نجد:

$$V_{am}(t) = \left[Ec + mE_c \sin(2\pi f_m t)\right] \sin(2\pi f_c t) \qquad (2\text{-}19)$$

يمكن كتابتها على الشكل التالي

$$V_{am}(t) = \left[1 + m \sin(2\pi f_m t)\right] E_c \sin(2\pi f_c t)$$

$$V_{am}(t) = E_c \sin(2\pi f_c t) + mE_c \sin(2\pi f_m t)(E_c \sin(2\pi f_c t)) \qquad (2\text{-}20)$$

❖ تذكرة

$$\sin\alpha \sin\beta = \frac{1}{2}\left[\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)\right] \qquad (2\text{-}21)$$

باستعمال المعادلة القصيرة (2-21) فإن المعادلة (2-20) يمكن كتابتها على الشكل التالي:

$$V_{am}(t) = E_c \sin 2\pi f_c t - \frac{mE_c}{2} \cos 2\pi (f_c + f_m)t + \frac{mE_c}{2} \cos 2\pi (f_c - f_m)t \qquad (2\text{-}22)$$

حيث

$E_c\, Sin(2\pi f_c t)$: يمثل الموجة الحاملة (Volts)

$-\frac{mE_c}{2}\cos 2\pi(f_c + f_m)t$: يمثل إشارة الجانب العلوي (Volts)

$\frac{mE_c}{2}\cos 2\pi(f_c - f_m)t$: يمثل شارة الجانب السفلي (Volts)

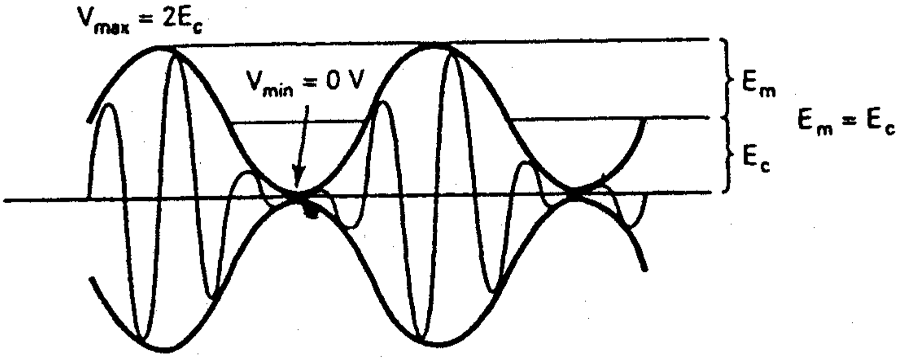
هناك عدة نقاط مهمة يمكن استخلاصها من المعادلة (2-22) وهي:

أ. سعة إشارة الموجة الحاملة بعد التعديل تساوي سعة الموجة الحاملة قبل التعديل.

$$Ec_{(modulated)} = Ec_{(unmodulated)} \qquad (2\text{-}23)$$

ب. سعتا الجانب العلوي والسفلي متساويتان وترتبطان بمعامل التعديل وسعة الموجة الحاملة.

ج. عندما تبلغ نسبة التعديل 100% (أي $E_m=E_c$, $m=1$) فإن سعتا الجانب العلوي والسفلي تساوي كل واحدة منهما نصف سعة الموجة الحاملة ($\frac{E_c}{2}$).



الشكل ٢- ٥ يوضح موجة AM عندما تبلغ نسبة التعديل 100%.

ومن هنا نكتب:

$$E_m = E_{usf} + E_{Lsf}$$

$$E_m = \frac{E_c}{2} + \frac{E_c}{2} = E_c$$

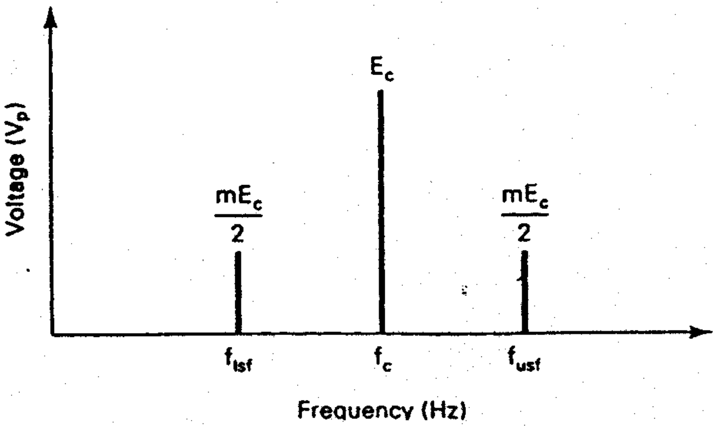
وبما أن:

$$V_{\max} = E_c + E_m = E_c + E_c = 2E_c$$

$$V_{\min} = E_c - E_m = E_c - E_c = 0$$

مما سبق، فإنه من الواضح أنه عندما يساوي معامل التعديل الواحد(m=1) فإن السعة القصوى للغلاف الخارجي هي $V_{max}= 2\ E_c$ والسعة الدنيا $V_{min}=0$، هذه الحالة موضحة في الشكل ٢- ٥.

د. إن الشكل ٢- ٦ يمثل الطيف الترددي للنطاق الجانبي المزدوج ذي الموجة الحاملة الكاملة (AM DSBFC) وذلك بالرجوع إلى المعادلة (2-22)



الشكل ٢- ٦ يوضح الطيف الترددي لجهد موجة AM DSBFC

هـ. من المعادلة (2-22) وهي: عند كل بداية للدورة (cycle) فإن المركبتين الجانبيتين تصنعان بينهما زاوية °180 بينما الموجة الحاملة تصنع مع كل واحدة منهما °90 وهذا ما يفسر المعنى الفيزيائي

لإشارة السالب (-) التي يحملها الحد الخاص بالجانب العلوي في المعادلة (2-22).

مثال ٢- ٣

أحد المدخلين لمعدل موجة AM هو عبارة عن الموجة الحاملة ذات تردد 500KHz ذات السعة $20V_p$. أما المدخل الثاني فهو مخصص لإشارة التعديل ذات تردد 10kHz والتي تكفي لإحداث التغيير في موجة الخرج قدره $\pm 7.5V_p$. أوجد ما يلي:

أ- تردد الجانب العلوي f_{usf} والسفلي f_{lsf}.

ب- معامل التعديل m والنسبة المئوية للتعديل M.

ج- السعة القصوى للموجه الحاملة بعد التعديل $(Ec)_{modulated}$.

د- جهد الجانب العلوي E_{usf} والسفلي E_{lsf}.

هـ- السعة القصوى V_{max} والدنيا للغلاف V_{min}.

و- علاقة الموجة المعدَلة $V_{am}(t)$.

ز- ارسم الطيف الترددي.

ح- ارسم الغلاف الخارجي.

الحل

أ- حسب المعادلتين (2-2) , (2-4) نكتب

$$f_{usf} = f_c + f_m = 500\ K + 10\ K = 510\ KHz$$

$$f_{Lsf} = f_c - f_m = 500\ K - 10\ K = 490\ KHz$$

ب- معامل التعديل ونسبة التعديل: حسب المعادلتين (2-6) ,(2-7) يكتب:

$$m = \frac{E_m}{E_c} = \frac{7.5}{20} = 0.375$$

$$M = \frac{E_m}{E_c} \times 100\,\% = \frac{7.5}{20} \times 100\,\% = 37.5\%$$

ج- حسب المعادلة (2-23)

$$Ec_{(modulated)} = Ec_{(unmodulated)} = 20V$$

د- من المعادلة (2-22) يمكن كتابة:

$$\mathrm{E_{USF}} = \mathrm{E_{LSF}} = \frac{mE_c}{2} = \frac{0.375 \times 20}{2} = 3.75V$$

هـ- حسب المعادلتين (2-8) , (2-9) يمكن كتابة:

$$V_{max} = E_c + E_m = 20 + 7.5 = 27.5V$$

$$V_{min} = E_c - E_m = 20 - 7.5 = 12.5V$$

و- علاقة الموجة المعدَلة معطاة بالمعادلة (22-2) وهي:

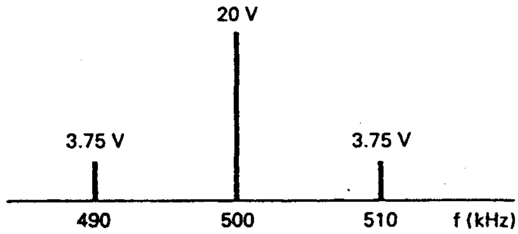
$$V_{am}(t) = E_c \sin 2\pi f_c t - \frac{mE_c}{2}\cos 2\pi(f_c + f_m)t + \frac{mE_c}{2}\cos 2\pi(f_c - f_m)t$$

الآن نعوض بالمعطيات المتوفرة لدينا نحصل على:

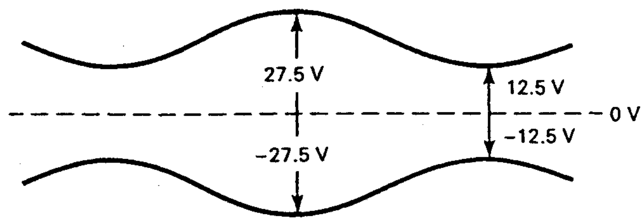
$$V_{am}(t) = 20\sin(2\pi 500\ Kt) - 3.75\cos(2\pi 510\ Kt) + 3.75\cos(2\pi 490\ Kt)$$

وهي العلاقة المطلوبة.

ز- الطيف الترددي مبين بالشكل التالي:



ح- رسم الغلاف الخارجي مبين بالشكل اسفل



٢-٦ توزيع القدرة لموجة تعديل السعة AM Power Distribution

في أي دائرة كهربائية فإن القدرة المستهلكة تعطى بالعلاقة التالية:

$$P = \frac{V^2}{R} \tag{2-24}$$

أما القيمة المتوسطة للقدرة:

$$P_{av} = \frac{V_{rms}^2}{R} \tag{2-25}$$

حيث

$$V_{rms} = \frac{V}{\sqrt{2}} \tag{2-26}$$

نعوض المعادلة (2-26) في المعادلة (2-25) نجد

$$P_{av} = \frac{V^2}{2R} \qquad (2\text{-}27)$$

تبعاً للمعادلة (2-27) يمكننا استنتاج قيمة القدرة المتوسطة للموجه الحاملة المستهلكة في الحمل **R.**

$$P_C = \frac{E_C^2}{2R} \qquad (2\text{-}28)$$

حيث:

P_c : طاقة الموجة الحاملة (Watts)

E_c: السعة القصوى للموجه الحاملة (Volts)

R: مقاومة الحمل (Ohm)

أما القدرة لكل من الجانب العلوي والسفلي.

$$P_{usf} = P_{Lsf} = \frac{\left(\frac{mE_C}{2}\right)^2}{2R} = \frac{m^2 E_C^2}{8R} \qquad (2\text{-}29)$$

نعوض المعادلة (2-28) في المعادلة (2-29) نجد:

$$P_{Usf} = P_{Lsf} = \frac{1}{4} m^2 P_C \qquad (2\text{-}30)$$

أما القدرة الكلية لموجة AM

$$P_T = P_C + P_{Usf} + P_{Lsf}$$

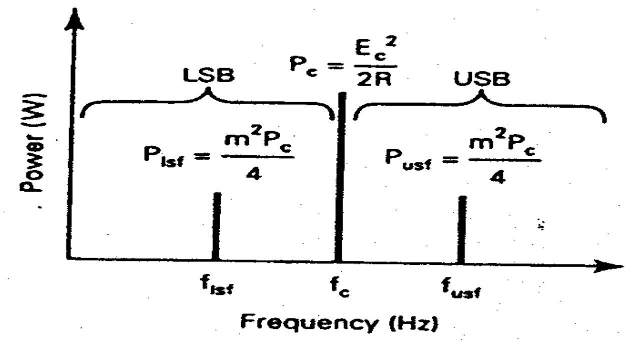
$$P_T = P_C + \frac{1}{4} m^2 P_C + \frac{1}{4} m^2 P_C \qquad (2\text{-}31)$$

$$P_T = \left[1 + \frac{m^2}{2}\right] P_C \qquad (2\text{-}32)$$

يمكن ملاحظة من المعادلة (2-31) أن الموجة الحاملة تحافظ على نفس القدرة بعد التعديل، أما المعادلة (2-32) تسمح لنا باستنتاج ما يلي :

أن القدرة الكلية تزداد بازدياد معامل التعديل.

تبعاً للمعادلة (2-31) يمكن رسم الطيف الترددي للقدرة الموضح في الشكل٢- ٧:



الشكل ٢- ٧ يوضح الطيف الترددي لقدرة الموجة AM DSBFC وذلك باستعمال إشارة التعديل ذات أحادية التردد.

عندما يحدث التعديل %100 فإن :

$$P_{Usf} = P_{Lsf} = \frac{P_C}{4} \qquad (2\text{-}33)$$

وذلك بتعويض قيمة m=1 في المعادلة (2-30)

أما القدرة الكلية المحمولة في كلا الجناحين

$$P_{tsf} = \frac{P_C}{2} \qquad (2\text{-}34)$$

من المعادلتين (2-33) و (2-34) نستنتج ما يلي: عندما يحدث التعديل %100 فإن القدرة المحمولة في كل جانب تساوي ربع قدرة الموجة الحاملة أما القدرة المحمولة في كلا الجانبين فهي تصبح نصف قدرة الموجة الحاملة.

هنا نشير بأن إحدى العيوب الرئيسة عند الإرسال باستعمال AM BSBFC أن المعلومات محتواه في الجانبين بالرغم من أن معظم القدرة تستهلك بواسطة الموجة الحاملة، لكن فعلياً فإن قدرة الموجة الحاملة لا تضيع كلية بل جزء منها يسمح باستعمال دائرة فكك التعديل البسيطة وبأقل تكلفة وهذا يعتبر في حد ذاته أحد الخواص المميزة لموجة AM DSBFC.

مثال ٢- ٤

وليكن لدينا المعطيات التالية لموجة AM DSBFC :

سعة الموجة الحاملة $10V_p$ ، مقاومة الحمل 10Ω والتعديل تم عند %100:

أوجد ما يلي:

أ. قدرة الموجة الحاملة P_c.

ب. قدرة كل من الجانبين العلوي P_{usf} والسفلي P_{lsf}

ج. القدرة الكلية للجانبين P_{tsf}.

د. القدرة الكلية للموجه المعدَلة P_T.

هـ. ارسم الطيف الترددي للقدرة .

الحل

أ. باستخدام المعادلة (2-28)

$$P_C = \frac{E_C^2}{2R} = \frac{10^2}{2 \times 10} = 5 \ W$$

ب. باستخدام المعادلة (2-30)

$$P_{Usf} = P_{Lsf} = \frac{1}{4} m^2 P_C = \frac{1}{4}(1^2)5 = 1.25W$$

حيث m=1 لأن التعديل تم عند 100%.

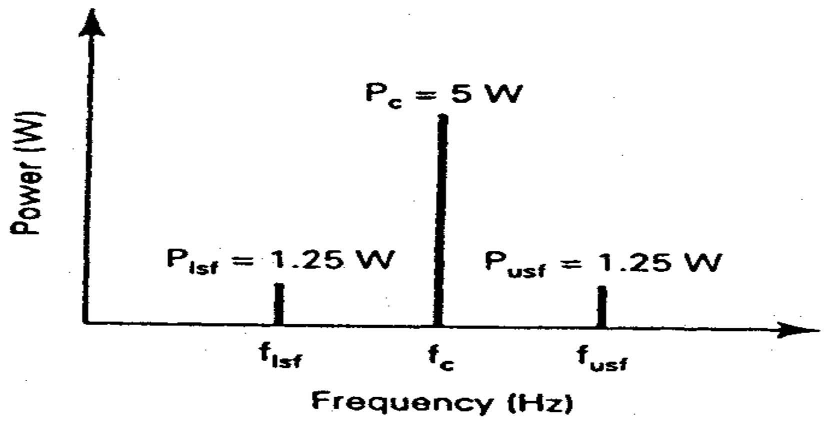
جـ.

$$P_{tsf} = \frac{P_C}{2} = \frac{5}{2} = 2.5W$$

د. باستخدام المعادلة (2-30)

$$P_T = \left[1 + \frac{m^2}{2}\right] P_C = (1 + \frac{1^2}{2}) \times 5 = 7.5W$$

هـ. الطيف الترددي للقدرة



٢-٧ حساب تيار موجة تعديل السعة AM Current Calculations

إنه من الضروري حساب تيار كل من الموجة الحاملة والموجه المعدَلة ثم يمكن استعمالهما من أجل حساب معامل التعديل والنسبة المئوية. هناك طريقة بسيطة من أجل الحساب وذلك بقياس تيار الهوائي بوجود إشارة التعديل ثم نعيد قياسه بدون إشارة التعديل.

العلاقة بين تيار الموجة الحاملة والموجه المعدَلة هي كالتالي:

$$\frac{P_t}{P_C} = \frac{I_t^2 R}{I_C^2 R} = \frac{I_t^2}{I_C^2} \qquad (2\text{-}35)$$

ومن جهة ثانية فإن

$$\frac{P_t}{P_C} = \frac{\left(1 + \frac{m^2}{2}\right) P_C}{P_C} = 1 + \frac{m^2}{2} \qquad (2\text{-}36)$$

من المعادلتين السابقتين نجد :

$$\frac{I_t^2}{I_C^2} = 1 + \frac{m^2}{2} \qquad (2\text{-}37)$$

ومن المعادلة (2-35) نجد

$$I_T = I_C \sqrt{1 + \frac{m^2}{2}} \qquad (2\text{-}38)$$

حيث :

I_T : تيار الموجة المعدَلة (A)

I_c : تيار الموجة الحاملة (A)

مثال ٢- ٥

إذا كانت طاقة الموجة الحاملة 10w ومقاومة الحمل 10Ω وتحت نسبة التعديل 100% احسب تيار الموجة المعدَلة (AM DSBFC)

حل المثال 2-5

باستخدام المعادلة (2-38)

$$I_T = I_C \sqrt{1 + \frac{m^2}{2}}$$

يجب حساب I_c حتى يتسنى لنا حساب I_T

$$P_C = I_C^2 R \rightarrow I_C = \sqrt{\frac{P_C}{R}} = \sqrt{\frac{10}{10}} = 1\,A$$

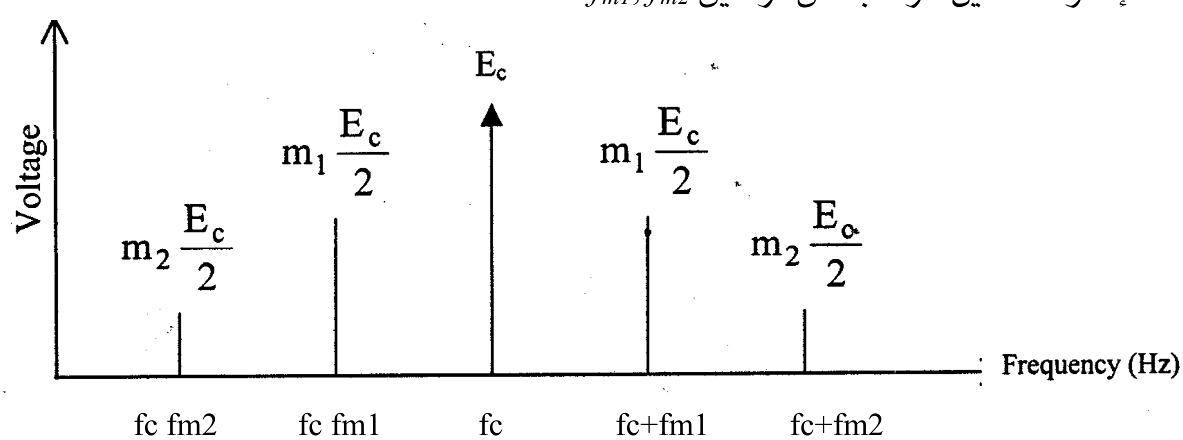
$$I_T = (1)\sqrt{(1 + \frac{1^2}{2})} = 1.225\ A$$

٢-٨ تعديل السعة بواسطة الإشارة المركبة AM Modulation by a Complex information

في الأجزاء السابقة من هذه الوحدة ، قمنا بدراسة الطيف الترددي، وعرض النطاق، ومعامل التعديل، وتوزيع كل من الجهد والقدرة وهذا بواسطة استعمال إشارة التعديل ذات أحادية التردد.

أما من الناحية التطبيقية، ففي الغالب تكون إشارة التعديل مركبة أي تكون عبارة عن مجموعة من الإشارات الجيبية ذات سعات وترددات مختلفة.

لنفترض إن إشارة التعديل تحتوي على ترددين (f_{m1}, f_{m2}) ففي هذه الحالة فإن الموجة الناتجة من عملية التعديل ستحتوي على مركبة الموجة الحاملة بالإضافة إلى مجموعتين من الأجنحة حيث ستقع على مسافات متساوية وبشكل تناظري حول مركبة الموجة الحاملة. والشكل ٢- ٨ يوضح الطيف الترددي الجهد في حالة إشارة التعديل مركبة من ترددين f_{m1}, f_{m2}.



الشكل ٢- ٨ الطيف الترددي للجهد لإشارتين تعديل بإستخدام تعديل السعة بواسطة الإشارة المركبة.

بالرجوع إلى المعادلة (2-22)التي وبأخذ بعين الاعتبار الشكل ٢- ٨ يمكن استنتاج معادلة الجهد لموجة AM في حالة إشارة التعديل تكون مركبة من ترددين f_{m1}, f_{m2} .

$$V_{am}(t) = E_c \sin 2\pi f_c t - \frac{m_1 E_c}{2}\cos 2\pi (f_c + f_{m1})t + \frac{m_1 E_c}{2}\cos 2\pi (f_c - f_{m1})t - \frac{m_2 E_c}{2}\cos 2\pi (f_c + f_{m2})t + \frac{m_2 E_c}{2}\cos 2\pi (f_c - f_{m2})t \quad (2\text{-}39)$$

حيث يمكن تعميم هذه المعادلة لإشارة التعديل التي تتكون من أكثر من ترددين.

عند استعمال إشارات التعديل ذات ترددات مختلفة في تعديل الموجة الحاملة على التوالي فإن معامل التعديل في هذه الحالة يعطى بالعلاقة التالية:

$$m_t = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + ... + m_n^2} \quad (2\text{-}40)$$

حيث

m_t: معامل التعديل الكلي

$m_1, m_2, ... m_n$: معاملات التعديل لإشارات الدخل.

هذا يقودنا إلى إدخال تغييرات طفيفة على معادلات القدرة التي درستها في الجزء السادس في حالة الإشارة ذات أحادية التردد، ففي حالة الإشارة المركبة تكتب كما يلي:

$$P_T = \left[1 + \frac{m_t^2}{2}\right] P_C \quad (2\text{-}41)$$

$$P_{Usf} = P_{Lsf} = \frac{1}{4} m_t^2 P_C \quad (2\text{-}42)$$

$$P_{tsf} = \frac{1}{2} m_t^2 P_C \quad (2\text{-}43)$$

مثال ٢- ٦

لدينا AM DSBFC ذو الموجة الحاملة ذات القدرة 200 W ضمنت على التوالي بواسطة ثلاث إشارات التعديل ذوات معاملات التعديل التالية:

. $m_3 = 0.5$, $m_2 = 0.4$, $m_1 = 0.2$

أوجد ما يلي:

أ. المعامل الكلي للتعديل m_t.

ب. القدرة الكلية للجانبين P_{tsf}.

ج. القدرة الكلية المرسلة P_T.

الحل

أ. باستعمال المعادلة (2-40) تكتب

$$m_t = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2} = \sqrt{(0.2)^2 + (0.4)^2 + (0.5)^2} = 0.67$$

ب. باستعمال المعادلة (2-43)

$$P_{tsf} = \frac{1}{2} m_t^2 P_C = \frac{1}{2}(0.67)^2 (200) = 45\ W$$

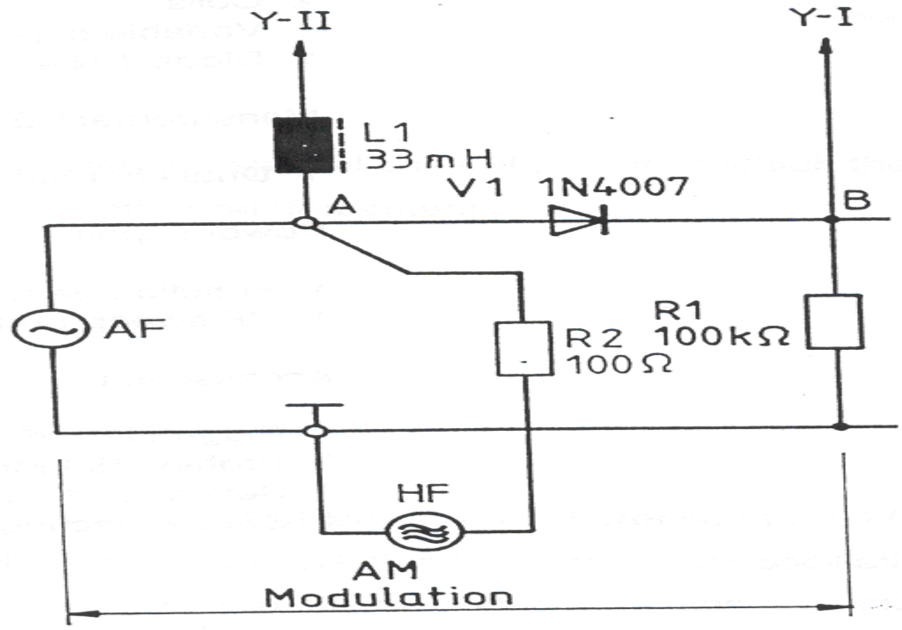
جـ. باستعمال المعادلة (2.41)

$$P_T = \left[1 + \frac{m_t^2}{2}\right] P_C = \left[1 + \frac{(0.67)^2}{2}\right](200) = 245\ W$$

٢-٩ دوائر تعديل السعة AM Circuits

أ- دائرة المعدَل AM Modulator Circuit

أعتقد الآن السؤال المطروح، كيف نستطيع إنتاج موجة AM عملياً. نلاحظ أن عملية التعديل تنتج إزاحة لتردد إشارة المعلومات. هذا يعني ترددات جديدة لا بد أن تنتج. واستناداً إلى الدراسة النظرية للدوائر، لا يمكن إنتاج ترددات جديدة باستعمال الدوائر الخطية. ومن هنا حتى يتسنى لنا إنتاج موجة AM لابد من استعمال عناصر إلكترونية غير خطية. وهناك عدة دوائر يمكنها إنتاج موجة AM. إحدى هذه الدوائر التي يمكن استعمالها في إنتاج موجة AM هي مبينة في الشكل ٢- ٩:



الشكل٢- ٩: معدل باستعمال صمام ثنائي غير خطي

الآن نريد أن نثبت رياضياً على أن معادلة الخرج $V_{out}(t)$ تشبه إلى حد ما المعادلة (2-22) الخاصة بموجه AM فإذا استطعنا أن نبرهن ذلك فمعنى ذلك أن الدائرة في الشكل ٢- ٩ ممكن أن تستعمل في إنتاج موجة AM. ومن أجل القيام بذلك، نعتبر أن المنحنى المميز للصمام الثنائي غير الخطي يعبر عليه بالمعادلة الرياضية التالية:

$$V_{out}(t) = C_1 V_{in}^1(t) + C_2 V_{in}^2(t) + C_3 V_{in}^3(t) + ... \qquad (2\text{-}44)$$

واضح من دائرة الشكل 2-9

$$V_{in}(t) = E_m \sin(2\pi f_m)t + E_C \sin(2\pi f_C)t \qquad (2\text{-}45)$$

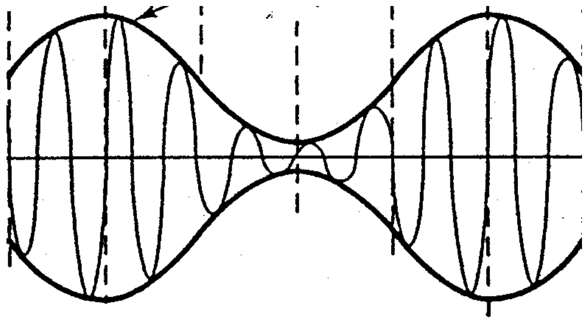
نعوض المعادلة (2-44) في المعادلة (2-45) مع إهمال الحد من الدرجة الثالثة نجد:

$$V_{out}(t) = C_1\left[E_m \sin(2\pi f_m)t + E_C \sin(2\pi f_C)t\right]^2 + C_2\left[E_m \sin(2\pi f_m)t + E_C \sin(2\pi f_C)t\right]^2 \qquad (2\text{-}46)$$

بتفكيك هذه المعادلة واستعمال الخصائص الشهيرة للدوال الجيبية مع إعادة ترتيب الحدود تبعاً للمعادلة 2-22 نجد:

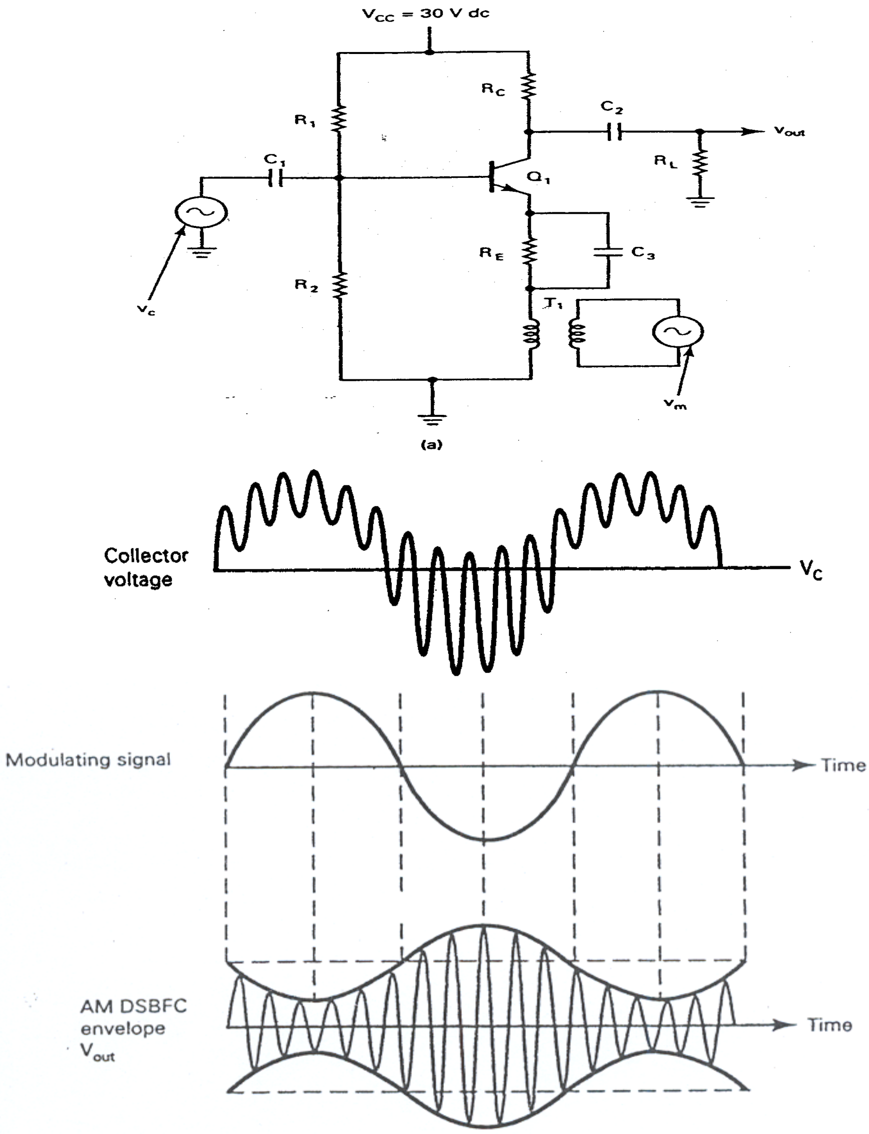
$$\begin{aligned} V_{out}(t) &= C_1 E_C \sin(2\pi f_C)t - C_2 E_m E_C \cos 2\pi(f_C + f_m)t + \\ & C_2 E_m E_C \cos 2\pi(f_C - f_m)t + C_1 E_m \sin(2\pi f_m)t + C_2 E_m^2 \sin^2(2\pi f_m t) + \\ & C_2 E_C^2 \sin^2(2\pi f_C t) \end{aligned} \qquad (2\text{-}47)$$

لو تأملنا بعمق في المعاملة 2-47 لوجدناها تحتوي على ترددات جديدة (F_c+F_m), (F_c-F_m) وهي نفس الترددات المحتواة في موجة AM، ثم الحدود الثالثة الأولى من المعادلة (2-47) هي نفس الحدود التي تتشكل منها المعادلة (2.22) أما الحدود غير المرغوبة فيها في المعادلة (2-47) يمكن التخلص منها بواسطة الترشيح وبالتالي المعادلة (2-47) تنطبق على صيغة المعادلة (2-22) ومن هنا تستنتج أن خرج الدئرة في شكل ٢- ٩ هي موجة تعديل السعة AM كما هو موضح في الشكل ٢- ١٠



الشكل٢- ١٠: إنتاج موجة AM بواسطة دائرة المعدل باستخدام صمام ثنائي غير خطي.

هناك دوائر أخرى يمكن استعمالها لإنتاج موجة تعديل السعة AM على سبيل الذكر لا الحصر دائرة إنتاج موجة AM باستعمال مكبر الباعث المشترك الترانزستور (npn)الموضحة في الشكل ٢- ١١ و لمزيد من المعلومات الخاصة بهذه الدوائر عليك الرجوع إلى المراجع في اخر الحقيبة.



الشكل٢- ١١: إنتاج موجة AM باستعمال مكبر الباعث المشترك الترانزستور (npn).

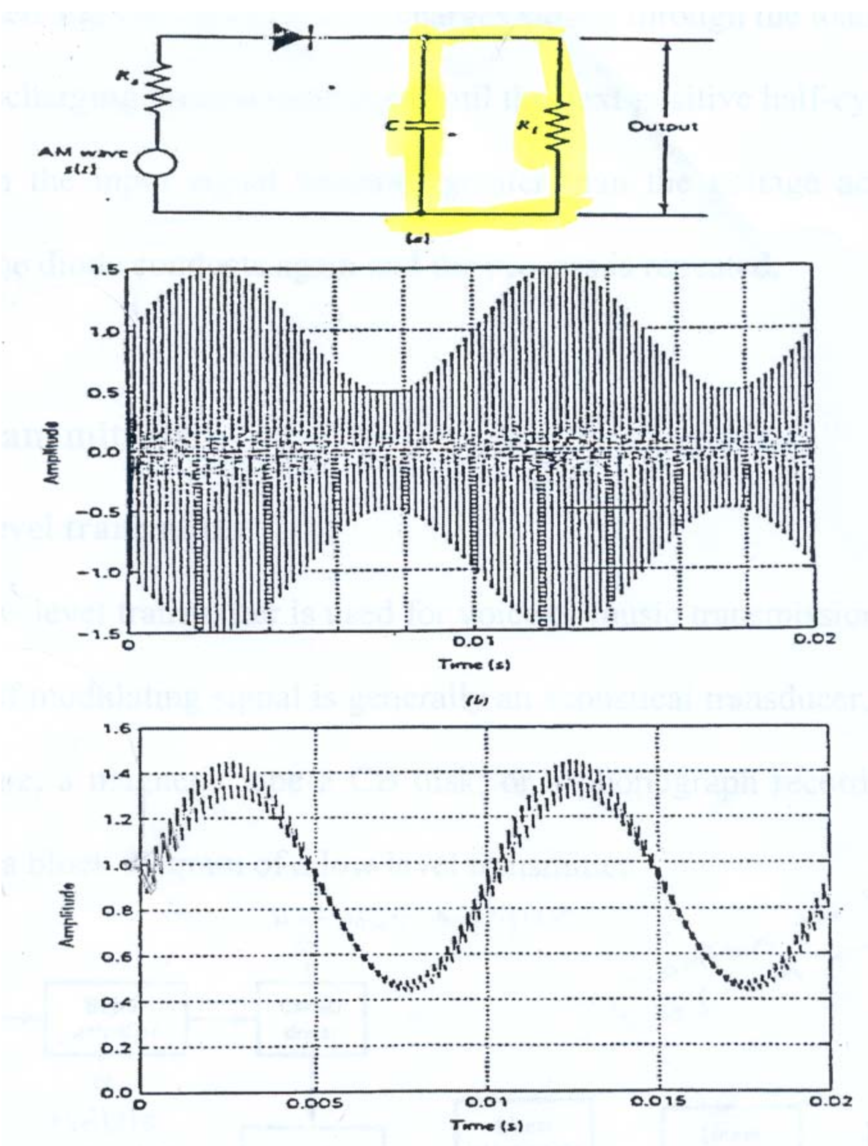
ب. دائرة كشف التعديل AM Demodolator Circuit

إن كشف الموجة المعدَلة لـ AM أو ما يسمى استخلاص إشارة التعديل من الموجة الحاملة، يمكن أن تنجز بإحدى الطرق الثلاث: الأولى تسمى كشف المقوم (Rectifier Circuit) والثانية تسمى كشف الغلاف (Envelope Detector) والثالثة تسمى كشف قانون التربيع (Square –law detector)

هنا سنكتفي بعرض الطريقة الثانية وهي:

كاشف الغلاف – Envelope Detector

هذه الطريقة تعتمد على اكتشاف الغلاف الخارجي لموجة AM بواسطة استعمال الدائرة الموضحة في الشكل التالي٢- ١٢.



الشكل٢-١٢. (أ) دائرة كاشف الغلاف – ب – موجة AM جـ - التقاط الغلاف الخارجي (مخرج الدائرة).

عمل الدائرة

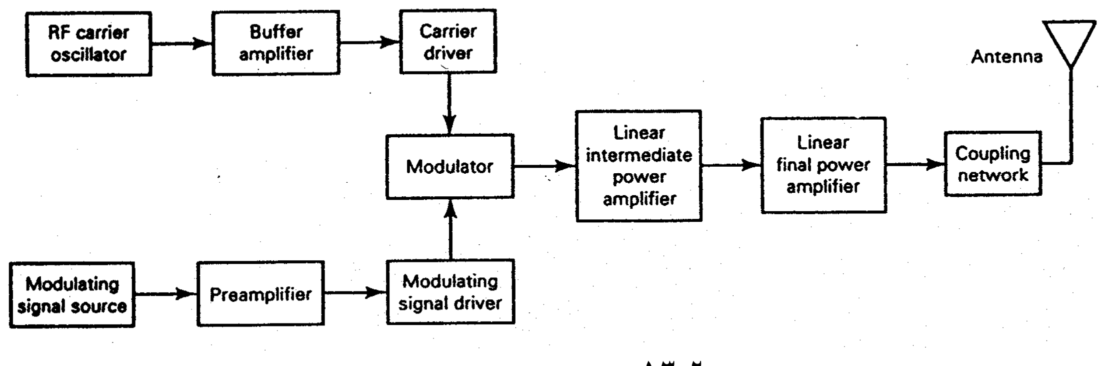
في هذا النوع من الكاشف تكون الإشارة الناتجة عند مخرجه حصيلة تتبع غلاف الإشارة المعدَلة AM الداخلة إليه (Am as input wave). ويمكن شرح ذلك من الدائرة الإلكترونية المبينة في الشكل ٢-١٢والتي تعمل كاكاشف غلاف. فخلال الدورة الموجبة من الإشارة الداخلة يتم شحن المكثف C حتى تصل إلى ذروة جهد الإشارة الداخلة ولما تقل قيمة الإشارة الداخلة عن القيمة التي وصل إليها جهد المكثف يفصل عندئذ الصمام الثنائي، وذلك لأن جهد المكثف في هذه اللحظة (والذي يساوي تقريباً ذروة الإشارة الداخلة) أكبر من قيمة الإشارة الداخلة مما يؤدي إلى فتح الصمام الثنائي. وبعدها يبدأ المكثف بالتفريغ عبر المقاومة R بمعدل منخفض. وخلال الدورة الموجبة التالية والتي عندها تكون قيمة الإشارة الداخلة أكبر من جهد المكثف يوصل الصمام مرة أخرى. ومن ثم يبدأ المكثف مرة أخرى بالشحن حتى يصل إلى ذروة هذه الدورة الجديدة. وخلال الدورة السالبة يبدأ المكثف مرة أخرى بالتفريغ حتى ينخفض جهده قليلاً. ولهذا يتم شحن المكثف خلال نحو دورة موجبة حتى يصل جهده إلى ذروة الإشارة الداخلة، ولكن جهده ينخفض ببطء حتى تصل الدورة الموجبة التالية وهكذا يكون الجهد عند مخرج الدائرة متتبعاً لغلاف الإشارة الداخلة (موجه AM) وهذا مبين من خلال الشكل (جـ)٢- ١٢.

٢-١٠ مرسلات معدل السعة AM Transmitters

هناك نوعان من أجهزة الإرسال:

أ. المرسل ذو مستوى مخفض (Low Level transmitter)

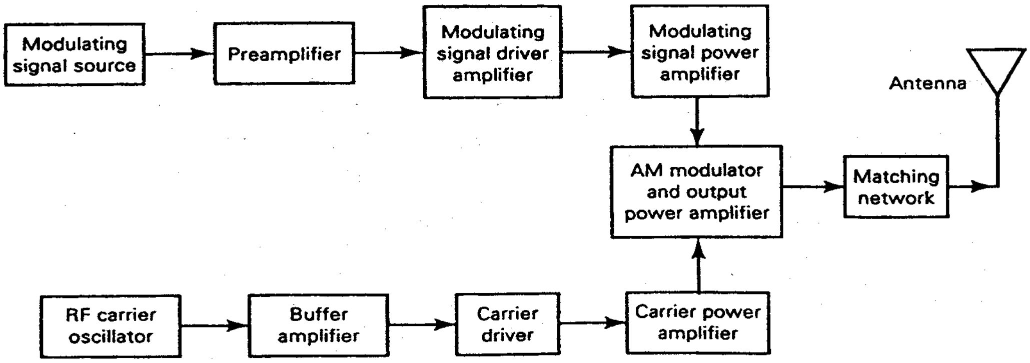
هذا النوع من الأجهزة يستعمل من أجل إرسال الإشارات الصوتية (100kHz – 300kHz)، وغالباً ما يكون المنبع عبارة عن آلة يمرر من خلالها الصوت مثال: الميكروفون (Microphone)، أو قرص مغناطيسي (CD Rom) أو مسجل صوت (Phonograph record). الشكل ٢-١٣ يوضح مجسم المرسل ذي مستوى منخفض و الذي يتميز بقلة المكبرات.



الشكل ٢-١٣ يوضح المرسل ذا مستوى منخفض

ب. المرسل ذو مستوى عال (High Level transmitter)

في هذا النوع من الضروري أن تكون قدرة إشارة التنفيذ في مستوى أعلى مقارنة بالمرسل ذي المستوى المنخفض. وهذا يبدو واضحاً من خلال إضافة مكبر التضخيم ثالث من أجل تكبير إشارة التعديل انظر الشكل٢-١٤.



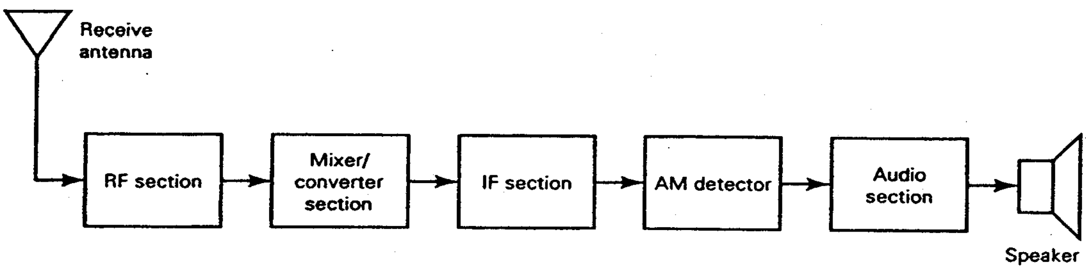
الشكل ٢- ١٤ يوضح المرسل ذا مستوى عال.

٢-١١ رسم تخطيطي لدوائر استقبال تعديل السعة AM Receiver Block Diagram

يتم استقبال موجة تعديل السعة في جهاز الاستقبال وهذه العملية هي عملية عكسية لعملية التعديل التي تمت في جهاز الإرسال.

إن مهمة جهاز استقبال موجة AM هو تحويل الموجة المعدَلة إلى إشارة معلوماتية أصلية لذلك من الضروري أن يكون جهاز استقبال موجة AM قادراً على الاستقبال، والتكبير، وتفكيك موجة AM. كذلك لا بد أن يكون هذا الجهاز قادراً على ضبط طنين جهاز الاستقبال (المستقبل) أي يتم تحديد عرض النطاق الكلي لطيف ترددات موجات المذياع (RF) إلى عرض نطاق خاص من الترددات.

حتى يتسنى الفهم الكلي لعملية التفكيك أو الاستخلاص (Demodulation)، إنه من الضروري أن نتطرق مبدئياً للمصطلحات الخاصة و التي تستعمل في وصف الخصائص المميزة لجهاز الاستقبال (Receiver). الشكل ٢-١٥ يوضح مجسماً مثالياً مختصراً لجهاز استقبال موجة AM.



الشكل ٢- ١٥ مجسم مختصر لجهاز استقبال موجة AM

إن من أهم الخصائص التي يتميز بها جهاز استقبال موجة AM والتي تساعدعلى فهم هذا الجهاز هي:

أ- قسم ترددات المذياع The RF Section

وأهم خصائص هذا القسم هي:

١. كشف موجات المذياع (RF).

٢. تحديد عرض نطاق موجات المذياع .

٣. تضخيم موجات المذياع المستقبلة.

ب- قسم الدمج والتحويل The Mixer and Converter Section

يتميز هذا القسم بإنه يقوم بتخفيض وتحويل ترددات موجات المذياع إلى ترددات وسطية (Intermediate Frequencies (IF)

ج- قسم الترددات الوسطية IF

يتميز هذا القسم بعمليتي التضخيم، والاختيار.

د- قسم كاشف الغلاف لموجة AM.

يتميز هذا القسم باستخلاص إشارة التعديل من الموجة المعدَلة ، وتحويل موجة AM إلى موجة المعلومات الاساسية.

هـ- القسم الصوتي

يتميز هذا القسم بتضخيم الإشارة المستخلصة.

٢- ١٢ عناصر المستقبل Receiver Parameters

العناصر التالية تستعمل من أجل تقييم مدى قدرة جهاز الاستقبال باستخلاص إشارة التعديل بنجاح من الموجة المعدَلة والتي في الغالب تكون من نوع موجات المذياع (RF).

أ- الاختيارية (Selectivity)

عنصر الاختيارية يستعمل من أجل قياس ما مدى قدرة جهاز الاستقبال على تغيير عرض نطاق معطى من الترددات ورفض البقية.

ب- تحسين عرض النطاق Bandwidth Improvement

هو عبارة عن تخفيض في نسبة الضوضاء والتي يمكن الحصول عليها بواسطة تخفيض في عرض النطاق.

كما يمكن التعبير رياضياً على تحسين عرض النطاق بالمعادلة التالية:

$$B_I = \frac{B_{RF}}{B_{IF}} \qquad (2\text{-}48)$$

حيث:

B_I: تحسين عرض النطاق [بدون وحدة]

B_{RF}: عرض نطاق موجات المذياع [Hz]

B_{IF}: عرض نطاق الموجات الوسطية [Hz]

إن عملية تحسين عرض النطاق نتيجة تخفيض في شكل الضوضاء يطابقها فعل يسمى تحسين في شكل الضوضاء والذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$NF_i = 10\ Log\ B_I \qquad (2\text{-}49)$$

حيث

NF_i: تحسيناً في شكل الضوضاء [decibel]

مثال ٢- ٧

أوجد تحسين في شكل الضوضاء (NF_i) لجهاز استقبال موجة AM حيث عرض نطاق موجات المذياع تساوي 200kHz وعرض نطاق الترددات الوسطية تساوي 10kHz.

حل مثال ٢- ٧

باستعمال المعادلتين (2-48) , (2-49) تكتب

$$NF_i = 10\ Log\ B_I = 10\, Log \frac{B_{RF}}{B_{IF}} = 10 Log\frac{200}{10} = 13dB$$

جـ- الحساسية Sensitivity

حساسية جهاز الاستقبال هي القيمة الصغرى لتردد إشارة المذياع التي يمكن التقاطها عند دخل المستقبل والتي بإمكان الجهاز إنتاج الإشارة المعلوماتية الآلية المستخلصة.

د- المجال الديناميكي للقدرة Dynamic Power range

المجال الديناميكي هو عبارة عن مجال لطاقة الدخل، من خلاله يكون جهاز الاستقبال قادراً على استقبال وتحليل الإشارة.

هـ- عامل الدقة Fidelity Factor

عامل الدقة يقوم بقياس ما مدى قدرة نظام الاتصالات على إنتاج صورة مطابقة تماماً لإشارة المعلومات عند خرج جهاز الاستقبال.

هناك ثلاثة أشكال ممكن أن تقلل من دقة نظام الاتصالات

١. التشوه في السعة: يحدث هذا النوع من التشوه عندما تتلف سعة الموجة المعدَلة بواسطة الضوضاء.
٢. التشوه في التردد: يحدث هذا النوع من التشوه عندما يتلف تردد الموجة بواسطة الضوضاء.
٣. التشوه في الطور: يحدث هذا النوع من التشوه عندما يتلف طور الموجة المعدَلة بواسطة التردد.

و- عامل الضياع في الدخل Insertion Loss (IL)

عامل الضياع في الدخل هو عبارة عن نسبة القدرة المحولة إلى الحمل في دائرة بوجود مرشح إلى قدرة المحولة إلى الحمل مع عدم وجود المرشح.

ويعرف بالعلاقة التالية:

$$IL = 10\,Log\ \frac{P_{out}}{P_{in}} \qquad (2\text{-}50)$$

ي- درجة حرارة الضوضاء والدرجة المكافئة للضوضاء

(Noise Temperature and Equivalent Noise Temperature)

درجة حرارة الضوضاء: يعبر عنها رياضياً بالعلاقة التالية:

$$T = \frac{N}{KB} \qquad (2\text{-}51)$$

حيث:

T: درجة حرارة الضوضاء [Kelvin]

N: طاقة الضوضاء [Watts]

K: ثابت بولتزمان $K = 1.38 \times 10^{-23} \left(\frac{Joules}{Kelvin}\right)$

B: عرض نطاق (Hertz)

ك- درجة الحرارة المكافئة للضوضاء (Te)

هي عبارة عن مؤشر يدل على انخفاض نسبة الإشارة إلى الضوضاء (Signal to noise ratio) أثناء صدور الإشارة خلال جهاز الاستقبال. فكلما قلت درجة الحرارة المكافئة للضوضاء كلما دل على جودة

جهاز الاستقبال. والقيم المثالية لـ T_e تتراوح بين 20^o لأجهزة استقبال ذات الجودة إلى غاية 1000^o لأجهزة الاستقبال ذات ضوضاء عالية. يعبر رياضياً على T_e عند دخل جهاز الاستقبال بالعلاقة التالية:

$$(3\text{-}5)\, T_e = T(F-1)$$

Te: درجة الحرارة المكافئة للضوضاء (Kelvin)

T : درجة حرارة الوسط (Kelvin)

F: معامل الضوضاء (بدون وحدة).

٢-١٣ مستقبلات تعديل السعة AM Receivers

هناك نوعان من الأجهزة للاستقبال موجة تعديل السعة وهما:

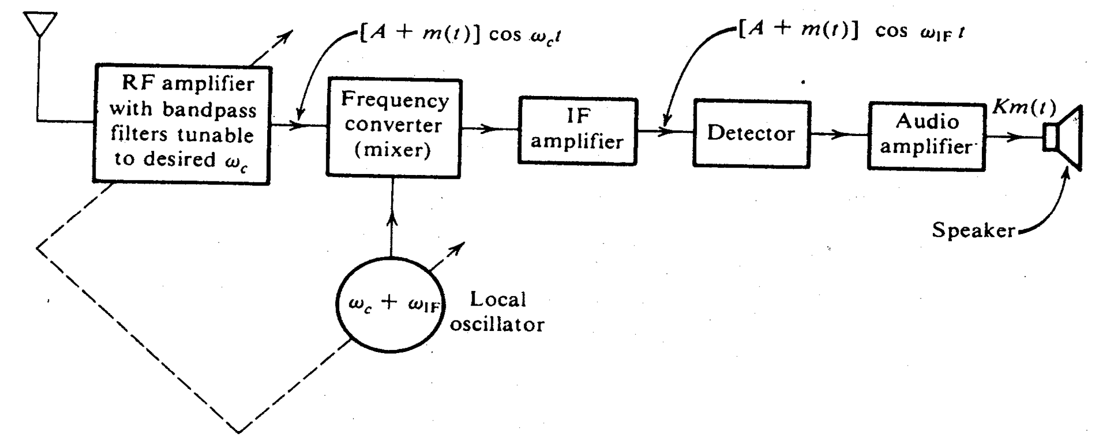
أ- أجهزة الاستقبال المتزامنة Coherent receivers

يشترط في هذا النوع من الأجهزة أن تكون الترددات المنتجة في قسم الاستقبال والتي تستعمل في عملية الكشف (أي استخلاص إشارة المعلومات الأصلية) متزامنة مع الترددات المنتجة من طرف المذبذب (Oscillator) في قسم الإرسال.

ب- أجهزة الاستقبال غير المتزامنة Non coherent receivers

في هذا النوع من الأجهزة يحتمل أن لا تنتج ترددات أو إن استعملت ترددات من أجل الكشف فإنها غير مرتبطة وليس لها أي علاقة مع تردد الموجة الحاملة الخاصة بقسم الإرسال.

ومن الأمثلة الشائعة على هذا النوع من أجهزة الاستقبال هو ما يعرف بـ: جهاز استقبال تعديل السعة بالفعل المتغاير الفوقي (The Super heterodyne AM receiver) والمبين في الشكل 2-3 و يمكن وصف عملة كمايلي:.



الشكل ٢-١٦ يوضح جهاز استقبال بالفعل المتغير الفوقي

يعرف جهاز استقبال المذياع المستخدم في تصنيف الاتساع عن طريق النقل المتغير بالفعل

الفوقي (سوبر هيتروداين) حيث يتكون هذا الجهاز الموضح في الشكل ٢- ١٦، من الأقسام التالية: قسم تردد الراديو، ومغير التردد، ومضخم الترددات الوسطية، وكاشف الغلاف، ومضخم الترددات السمعية.ويقوم بالتقاط المحطة المرغوبة عن طريق تغيير طنين المرشح حتى يوافق النطاق الترددي الصحيح.

أما القسم التالي فهو مغير التردد الذي ينقل الموجة الحاملة من ترددها f_c إلى تردد متوسط وثابت عند القيمة 455 كيلو هرتز. ويستخدم لهذا الغرض مذبذب موضعي قيمة تردده F_{LO}، بحيث يكون هذا التردد أكبر دائماً من تردد الموجة الحاملة القادمة(F_c) بمقدار 455 كيلوهرتز أي $F_{LO}=F_c+F_{IF}$ حيث $(F_{IF} = 455kHz)$. ويتحكم في طنين المذبذب الموضعي وطنين مرشح المذياع معاً عن طريق تدوير (مفتاح) واحد. وهناك مكثفات للطنين في دوائر كلا القسمين، رصت جميعاً وصممت لكي يكون تردد الطنين في المذبذب الموضعي أكبر من تردد الطنين في مرشح المذياع بقيمة قدرها 455 كيلوهرتز، وهذا بالتالي يعني أن تردد كل محطة يتم استقبالها بالمذياع سيتغير إلى تردد ثابت قيمته 455 كيلوهرتز، وذلك بواسطة مغير التردد. والسبب نقل تردد جميع المحطات المرغوبة إلى التردد الثابت 455 كيلو هرتز هو ضمان الحصول على انتقائية كافية. حيث يصعب تصميم مرشحات مثالية لإمرار الترددات العالية جداً، وبشكل خاص إذا كان هذا المرشح من النوع الذي يمكن تغير طنينه. وعلى هذا، لن يتمكن مرشح المذياع من تقديم انتقائية كافية مما يتسبب في حصول تداخل مع القناة المجاورة. ولكن ينقل تردد الإشارة القادمة إلى تردد متوسط بواسطة مغير التردد، فإن مضخم الترددات المتوسطة الذي يتمتع بانتقائية جيدة يقوم حينئذ بزيادة تكبيرها وذلك لأن قيمة تردد مضخم التردد المتوسط منخفضة نسبياً وثابتة عند قيمة محددة. ولهذا فبالرغم من احتواء مدخل مضخم الترددات المتوسطة على مركبات القناة المجاورة إلا أن هذا المضخم بانتقائيته المرتفعة سيقوم بإزالة هذا التداخل وتضخيم الإشارة لكي تكون جاهزة لعملية كشف الغلاف.

وفي الحقيقة، يتم تحقيق صفة الانتقائية عملياً في قسم التردد المتوسط أما قسم متوسط المذياع فليس له دور يذكر في هذا الشأن. فمهمة هذا القسم الرئيسة هي التخلص من تردد الصورة. وإن مخرج مغير الذبذبات يتكون من الفرق بين ترددي الإشارة القادمة f_c وإشارة المذبذب الموضعي (أي إن $F_{IC}=F_{LO}$ $(F_C$). فإن كان تردد الموجة القادمة f_c يساوي 1000kHz فإن: $F_{LO}=F_C+F_{IF}$ = 1000+455=1455kHz ولو كانت هناك إشارة أخرى تبث على تردد يساوي $F_c= 1455+455=1910kHz$، فإن التقاطها يصبح ممكناً أيضاً لأن الفرق F_c F_{co} يساوي 455 kHz. وهنا نقول إن المحطة التي ترددها 1910kHz وهي صورة (أو خيال) المحطة التي ترددها 1000kHz وأي محطتين يفصل بين ترددهما $2F_{IF}$=910kHz، فإن إحداهما صورة للأخرى وكلاهما سيظهران عند مخرج الترددات المتوسطة فافتراض عدم وجود قسم

مذياع عند مدخل جهاز الاستقبال. وقد يقدم مرشح المذياع انتقائية سيئة ضد المحطات التي يفصل بين تردداتها 70kHz ولكنه يجب أن يوفر انتقائية معقولة المحطات التي يفصل بينها 910kHz.

ويغير جهاز الاستقبال شكل ٢- ١٦ تردد الموجة الحاملة إلى تردد وسيط (IF) باستعمال مولد الذبذبات الموضعي الذي تردده (F_{LO}) أكبر من الموجة القادمة. ولذا يطلق عليه المستقبل بالفعل المغاير الفوقي ويستخدم هذا المبدأ الذي قدمه أرمسترونغ في أجهزة استقبال التعديل الاتساعي، والترددي، والتلفازي. والسبب في الاستخدام تردد موضعي أعلى من تردد الموجة القادمة بدلاً من تردد أقل يعود إلى أن الأول يؤدي إلى حدوث مدى طنيني للمذبذب الموضعي أصغر من ذاك الناتج عند استعمال الأخير. وتمتد ترددات الموجات الإذاعية المتوسطة كما هو معروف من 550 إلى 1600 كيلو هرتز. ويتمدد تردد التحويل الفوقي المصاحب لهذا النطاق من الذبذبات الإذاعية من 1005 إلى 2055 كيلوهرتز بينما يغطي مدى التحويل السفلي النطاق الممتد من 95 إلى 1145 كيلوهرتز ولا شك أن تصميم المذبذب سيكون أكثر سهولة كلما صغرت النسبة بين تردد النهاية الكبرى والنهاية الصغرى لمدى الطنين.

ويكتسب مبدأ الفعل المتغاير الفوقي أهمية خاصة في البث الإذاعي. ففي السنوات الأولى للبث الإذاعي (قبل عام ١٩١٩م) كان مرشح قسم مرحلة المذياع هو المسؤول عن تحقيق الانتقائية بكاملها لتمييز المحطات المتجاورة. ولكون مرشح هذا القسم يتصف بانتقائية رديئة، كان من الضروري استعمال عدة مراحل (عدد من دوائر الطنين) متصلة على التوالي لتخفيف انتقائية كافية. وفي أجهزة الاستقبال القديمة كان طنين كل مرشح يعدل على حدة. وكان من العسير والمضيع للوقت التقاط محطة إذاعية عن طريق جعل جميع دوائر الطنين كلها متزامنة. وقد سهل هذا الأمر بتجميع المكثفات المتغيرة كبيرة الحجم مما يجعل هناك حداً لعدده الذي يمكن تجميعه لهذه الطريقة.

وهذا بلا شك يحد من الانتقائية التي توفرها تلك الأجهزة. وبالتالي كان لابد من فصل بين ترددات الموجات الحاملة المتجاورة بمقادير كبيرة، مما نتج عنه عدد قليل من النطاقات الترددية أو القنوات. وهنا تبرز أهمية جهاز الاستقبال المعتمد على مبدأ الفعل المتغير الفوقي (سوبرهيتيرداين) في السماح بوجود محطات إذاعية كثيرة.

تمارين

التمرين الأول

من أجل مضمن الـ AM DSBFC استعملنا موجة حاملة ذات تردد 100kHz وإشارة التعديل ترددها الأقصى 5kHz.

أوجد ما يلي:

أ. حدود التردد لكل من عرض النطاق الجانب العلوي وعرض النطاق الجانب السفلي.

ب. عرض النطاق.

ج. التردد الأقصى والأدنى لكل من الجانبين عندما يصبح تردد إشارة المعلومات 3kHz.

د. ارسم الطيف الترددي للخرج.

التمرين الثاني

ما هو التردد الأقصى لإشارة التعديل الذي يمكن أن يستعمل مع نظام AM DSBFC ذي عرض نطاق 20kHz.

التمرين الثالث

إذا كانت السعة المتوسطة للموجه المعدَلة تساوي $20V_p$ ومقدار تغير سعتها هو ±5v.

أوجد ما يلي:

أ- السعة القصوى والدنيا للغلاف الخارجي.

ب- معامل التعديل.

ج- النسبة المئوية للتعديل (إذا كان $E_c=20V_p$ ، $E_m = \pm 5V$).

التمرين الرابع

ارسم شكل الغلاف الخارجي للتمرين الثالث مع تعيين كل القيم الضرورية على الرسم.

التمرين الخامس

من أجل معامل التعديل m=0.2 قدرة الموجة الحاملة قبل التعديل P_c=1000w

أوجد ما يلي:

أ. القدرة المحتواة في كلا الجانبين.

ب. قدرة كل جانب (الجانب العلوي والسفلي).

ج. قدرة الموجة الحاملة المعدَلة.

د. القدرة الكلية المرسلة.

التمرين السادس

ارسم مخطط بيانياً لجهاز استقبال موجة AM مع تسمية مكوناته.

التمرين السابع

اذكر الخصائص المميزة لجهاز استقبال موجة AM مع شرح وجيز لكل عنصر.

التمرين الثامن

أوجد عرض نطاق الترددات الوسطية (B_{IF}) الضرورية للوصول إلى عرض تحسين النطاق (B_I) المقدر بـ 16 لجهاز استقبال المذياع حيث عرض نطاق ترددات المذياع (B_{RF}) تساوي 320kHz.

التمرين التاسع

أوجد تحسين في شكل الضوضاء (NF_i) لجهاز استقبال حيث عرض نطاق ترددات المذياع (RF) يساوي 40kHz وعن عرض نطاق الترددات الوسطية (IF) يساوي 10kHz.

التمرين العاشر

أوجد درجة الحرارة المكافئة للضوضاء (Te)حيث شكل الضوضاء يساوي 16dB ودرجة الوسط $T=27^{\circ}C$.

التمرين الحادي عشر

ارسم شكلاً توضيحياً لجهاز سوبر هيردين واشرح وظيفته مع بيان مدى أهميته.

التمرين الثاني عشر

إذا كان تردد الموجة الحاملة القادمة إلى جهاز الاستقبال تساوي 500kHz. احسب تردد المذبذب الموضعي في جهاز الاستقبال.

أساسيات الاتصالات

تعديل الـزاوية

الوحدة الثالثة : تعديل الـزاوية
Angle Modulation

- **الهدف**

عند نهاية هذه الوحدة باستطاعة المتدرب معرفة :

أ. تعريف التعديل الزاوي.
ب. تعريف تعديل الطور (PM).
ج. تعريف تعديل التردد (FM).
د. توليد موجات تعديل الطور (PM) و تعديل الالتردد (FM) نظرياً وعملياً.
هـ. حساب عرض نطاق التعديل الزاوي بطريقتي قانون كارس وجدول بيسال.

- **محتوى الوحدة الخامسة :**

٣-١ مقدمة.
٣-٢ تعديل الزاوية.
٣-٣ مرسلات تعديل الزاوية.
٣-٤ مستقبلات معدلات الزاوية.

عدد الساعات المطلوبة لتدريب هذه الوحدة : ١٥ساعة

٣-١ مقدمة Introduction

هناك ثلاث خصائص يمكن تغييرها للإشارة التماثلية وهي: الاتساع، والتردد والطور. هذه الوحدة تتناول تعديل التردد (FM) وتعديل الطور (PM). إن تعديل التردد وتعديل الطور يعتبران شكلاً للتعديل الزاوي. وهناك خصائص مميزة تستدعي استعمال تعديل الزاوي بدلاً من تعديل الاتساعي (AM) نظراً لمساهمته في إنقاص الضوضاء، وتحسين دقة نظام الاتصالات وأكثر مردودية في استعمال الطاقة. إلا أن التعديل الزاوي يتطلب دوائر إلكترونية معقدة في كل من جهازي الإرسال والاستقبال.

في سنة 1931 اقترح تعديل الزاوي كبديل للتعديل الاتساعي. وفي سنة 1936م تمكن العالم أرمسترونغ من تطوير نظام المذياع باستعمال FM، وفي سنة 1939م تم البث الإذاعي باستعمال FM في الولايات المتحدة الأمريكية.

وفي يومنا هذا، أصبح استعمال تعديل الزاوي بشكل كبير جداً حيث يستعمل في البث الإذاعي، وفي التلفاز لنقل الصوت، والمذياع الخلوي، وفي أنظمة الأقمار الصناعية والميكروييف.

إن الهدف المنشود من هذه الوحدة هو التعريف بأساسيات التعديل الزاوي بشقية تعديل التردد وتعديل الطور والعلاقة التي تربط بينهما وما مدى تميزهما على التعديل الاتساعي (AM) وكذلك التعرف على الدوائر الإلكترونية التي تساهم في إنتاج هذين النوعين من التعديل بالإضافة الى دوائر الأستقبال.

٣-٢ تعديل الزاوية

Angle Modulation

إن التعديل الزاوي ينتج كلما تغيرت زاوية الموجة الجيبية بدلالة الزمن.

نعبر رياضياً عن موجة التعديل الزاوي بواسطة المعادلة التالية:

$$V(t) = E_C \cos[2\pi f_C\ t + \Phi(t)] \tag{3-1}$$

حيث الطور $\Phi(t)$ هو دالة إشارة المعلومات. لتعيد كتابة المعادلة (3-1) تحت الشكل التالي:

$$V(t) = E_C \cos[\theta(t)] \tag{3-2}$$

حيث

$$\theta(t) = 2\pi f_C t + \Phi(t) \tag{3-3}$$

أي $\theta(t)$ هي زاوية الموجة الجيبية وهي متعلقة بالزمن. من هنا يمكن أن نعبر على التردد اللحظي بالمعادلة التالية:

$$\omega_i(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} \qquad (3\text{-}4)$$

نعوض المعادلة (3-3) في المعادلة (3-4) نحصل على ما يلي:

$$\omega_i(t) = \omega_C + \frac{d\phi(t)}{dt} \qquad (3\text{-}5)$$

حيث $\omega_C = 2\pi f_C$

$\phi(t)$: يعرف بالانحراف اللحظي في الطور.

$\frac{d\phi(t)}{dt}$: يعرف بالانحراف اللحظي في التردد.

٣- ٢- ١ تعديل الطور وتعديل التردد

Phase and Frequency Modulation (PM and FM)

كما أشرنا في المقدمة بأن أنواع التعديل الزاوي هما تعديل الطور (PM) وتعديل التردد (FM).

وبالنسبة لتعديل الطور (PM)، فإن الانحراف اللحظي في الطور يتناسب طرداً مع إشارة المعلومات، أي يمكن التعبير عنه رياضياً بالمعادلة التالية:

$$\phi(t) = \kappa_\rho V_m(t) \qquad (3\text{-}6)$$

حيث :

κ_ρ : هو عبارة عن ثابت انحراف الطور و وحدته $\frac{radian}{Volts}$.

$V_m(t)$: هو عبارة عن الجهد اللحظي لإشارة المعلومات.

أما بالنسبة لتعديل التردد (FM) فإن الانحراف اللحظي في الطور يتناسب طرداً مع إشارة المعلومات ويمكن التعبير عنه بالمعادلة التالية:

$$\frac{d\phi(t)}{dt} = \kappa_f V_m(t) \qquad (3\text{-}7)$$

ومن هنا يمكن التعبير عن قيمة الانحراف اللحظي بما يلي:

$$\phi(t) = \kappa_f \int_{t_o}^{t} V_m(\lambda)d\lambda + \phi(t_o) \qquad (3\text{-}8)$$

حيث:

κ_f : هو عبارة عن ثابت انحراف التردد معبراً عنه بـ $\frac{hz}{v}$

$\phi(t_o)$: هو عبارة عن الطور الابتدائي عند 0^o

في الغالب يفترض أنه عندما يؤول الزمن إلى ناقص مالانهاية فإن الطور ينعدم، ومن هنا يمكن تعويض المعادلات (3-6) , (3-8) في المعادلة الأصلية (3-1) التي جعلناها محطة الانطلاق لنعبر على التعديل الزاوي بما يلي:

$$V_{PM}(t) = E_C \cos\left[2\pi f_C t + \kappa_\rho V_m(t)\right] \qquad (3\text{-}9)$$

$$V_{FM}(t) = E_C \cos\left[2\pi f_C t + \kappa_f \int_{-\infty}^{t} V_m(\lambda)\, d\lambda\right] \qquad (3\text{-}10)$$

حيث المعادلتان (3-9) , (3-10) تعبران عن الجهد اللحظي لكل من موجة تعديل الطور وموجة تعديل التردد على التوالي.

والآن نريد استخراج كلاً من معادلتي التردد اللحظي لكل من تعديل الطور وتعديل التردد حتى يتسنى لنا رسم موجتيهما.

ومن أجل ذلك، نعوض المعادلة (3-6) في المعادلة (3-5) نحصل على:

$$\omega_{i(PM)}(t) = \omega_C + \kappa_\rho \frac{dV_m(t)}{dt} \qquad (3\text{-}11)$$

أما تعويض المعادلة (3-7) في المعادلة (3-5) يعطي ما يلي:

$$\omega_{i(FM)}(t) = \omega_C + \kappa_f V_m(t) \qquad (3\text{-}12)$$

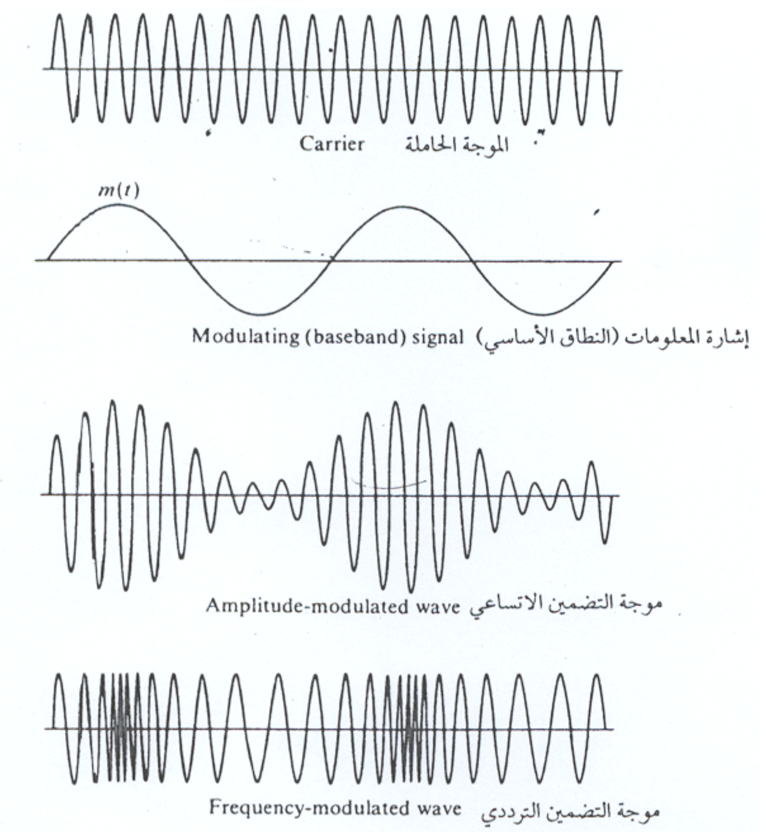
من المعادلتين (3-11) , (3-12) نلاحظ أن التردد اللحظي يتغير خطياً مع تفاضل الجهد اللحظي إشارة المعلومات بالنسبة للزمن هذا خاص بتعديل الطور أما فيما يخص تعديل التردد نلاحظ أن التردد اللحظي يتغير خطياً مع الجهد اللحظي لإشارة المعلومات.

٣- ٢- ٢ توليد موجتي تعديل الطور وتعديل التردد نظرياً

Theoretical Generation of PM and FM waves

كما أشرنا في الجزء السابق على أن معادلات التردد اللحظي لتعديل التردد هو الركيزة الأساسية لفهم طريقة توليد موجة (FM) نظرياً كما يوضحه الشكل ٣- ١.

بالتدقيق في شكل ٣- ١ و بالرجوع الى معادلة ٣- ١٠ نجد إنه يوجد علاقة طردية بين سعة اشارة المعلومات V_m و تردد موجة تعديل التردد. أي أنه كلما زاد قيمة V_m، زاد تردد موجة تعديل التردد و كلما قل قيمة V_m، قل تردد موجة تعديل التردد. و لذلك نلاحظ أن أعلى قيمة للتردد في موجة الخرج تقابل أعلى قيمة لسعة اشارة المعلومات و العكس صحيح.



الشكل ٣- ١ يوضح كيفية توليد موجة(FM) .

مثال ٣- ١

أوجد التردد اللحظي بالهرتز لإشارة التعديل الزاوي.

$$V(t) = 10\cos(200\pi t + \frac{\pi}{3})$$

الحل:

$$\theta(t) = 200\,\pi t + \frac{\pi}{3}$$

$$\omega_i(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} = 200\,\pi$$

$$\omega_i = 2\pi f_i = 200\ \pi \Rightarrow f_i = 100\ Hz$$

٣- ٢- ٣ دليل التعديل Modulation Index

أ. دليل التعديل لموجة تعديل الطور

دليل التعديل لموجة تعديل الطور يعطى بالعلاقة التالية :

$$m = \kappa_{\rho}\ V_m \qquad (3\text{-}13)$$

حيث :

m : دليل التعديل ويقاس بالرادين (rad)

K_p: ثابت انحراف الحساسية ويقاس بالرادين/الفولت

V_m : السعة القصوى لجهد إشارة المعلومات.

يجب التنبيه على أن دليل التعديل لموجة تعديل الطور يدعى كذلك "الانحراف الأقصى في الطور".

مثال ٣- ٢

إذا علمت أن ثابت انحراف الحساسية (K_p= 2.5 rad / V)، أوجد دليل التعديل m (الانحراف الأقصى في الطور) لتعديل الطور:

$$V(t) = 2\cos(2\pi\, 2000\ t)$$

الحل:

$$m = \kappa_{\rho}\ V_m = 2.5 \times 2 = 5 \quad rad$$

ب. دليل التعديل لموجة تعديل التردد:

دليل التعديل لموجة تعديل التردد يعطى بالعلاقة التالية:

$$m = \frac{\kappa_f V_m}{f_m} \qquad (3\text{-}14)$$

$$m = \frac{\Delta f}{f_m} \qquad (3\text{-}15)$$

حيث:

$\Delta f = \kappa_f V_m$: يدعى الانحراف في التردد أو الانحراف الأقصى في التردد.

f_m: تردد إشارة المعلومات

k_f: ثابت انحراف الحساسية لتعديل التردد.

مثال ٣- ٣

أوجد الانحراف الأقصى للتردد ودليل التعديل لمعدَل التردد حيث ثابت إنحراف الحساسية

$$\kappa_f = 5\ \frac{KHz}{V}$$

وإشارة المعلومات

$$V(t) = 2\cos(2\pi 2000\ t)$$

الحل:

الانحراف الأقصى في التردد لمعدَل FM

$$\Delta f = \kappa_f V_m = 5\left[\frac{KHz}{V}\right] \times 2V = 10\,KHz$$

دليل التعديل لموجة FM

$$m = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{10\ KHz}{2\ KHz} = 5$$

٣- ٢- ٤ تحليل موجات التعديل الزاوي بواسطة التردد

Frequency Analysis of Angle Modulated Waves

إن اشتمال إشارة المعلومات أحادية التردد من أجل تعديل الموجة الحاملة تعديلاً زاوياً فإن معدَل الطور أو التردد ينتج عدداً غير منتهي من أزواج الأجنحة الترددية والتي تمتلك عرض نطاق غير منتهي.

كل جناح يزاح عن الموجة الحاملة بواسطة حاصل ضرب عدد الذي يلي العدد قبله (العدد الأول يساوي واحد). أي

$$f_c \pm f_m, f_c \pm 2f_m, ..., f_c \pm nf_m$$

ومن ناحية أخرى يمكن إهمال معظم الأجنحة لأن سعتها ضعيفة.

من أجل تحليل الموجة التعديل الزاوي بواسطة التردد ، نذكر بمعادلة التعديل الزاوي (3-1) والمعطاة بما يلي:

$$V(t) = E_C \cos\left[2\pi f_C t + \Phi(t)\right] \qquad (3\text{-}16)$$

بتعويض المعادلة (3-6) في المعادلة (3-16) نحصل على

$$V(t) = E_C \cos\left[2\pi f_C t + \kappa_\rho V_m(t)\right] \qquad (3\text{-}17)$$

لنفترض أن إشارة المعلومات معطاة بالعلاقة التالية:

$$Vm(t) = V \cos \omega_m t \tag{3-18}$$

نعوض المعادلة (3-18) في المعادلة (3-17) نحصل على:

$$V(t) = E_C \cos\left[2\pi f_C \ t + K_p V \cos \omega_m t\right]$$

$$V(t) = E_C \cos\left[2\pi f_C t + m \cos \omega_m t\right] \tag{3-19}$$

حيث استبدلنا K_pV بـ m (انظر المعادلة 3-13) باستعمال تعريف دالة بيسال:

$$\cos(\alpha + m \cos \beta) = \sum_{-\infty}^{+\infty} J_n(m) \cos(\alpha + n \cos \beta + \frac{n\pi}{2}) \tag{3-20}$$

حيث $J_n(m)$ هي دالة بيسال من النوع الأول ومن الدرجة n و طول m.

بتطبيق المعادلة (3-20) على المعادلة (3-19) نحصل على

$$V(t) = E_C \sum_{-\infty}^{+\infty} J_n(m) \cos(\omega_C t + n\omega_m t + \frac{n\pi}{2}) \tag{3-21}$$

الآن نقوم بنشر للمعادلة (5-21) إلى غاية الحدود الأربع الأولى نحصل على

$$V(t) = E_C \left\{ \begin{array}{l} J_o(m)\cos\omega_C t + J_1(m)\left[\cos(\omega_C + \omega_m)t + \dfrac{\pi}{2}\right] - \\ J_1(m)\left[\cos(\omega_C - \omega_m)t - \dfrac{\pi}{2}\right] + J2(m)\left[\cos(\omega_C + \omega_m)t + \dfrac{\pi}{2}\right] - \\ J2(m)\left[\cos(\omega_C - \omega_m)t - \dfrac{\pi}{2}\right] + \ldots \end{array} \right\} \tag{3-22}$$

إن المعادلة (3-22) تبين أن استعمال إشارة المعلومات أحادية التردد في التعديل الزاوي ينتج عنه عدد غير منتهي من أزواج الأجنحة الترددية والواقعة على جانبي المركبة الترددية المركزية للموجه الحاملة (f_c) على الشكل التالي: $f_c \pm f_m, f_c \pm 2f_m, ..., f_c \pm nf_m$

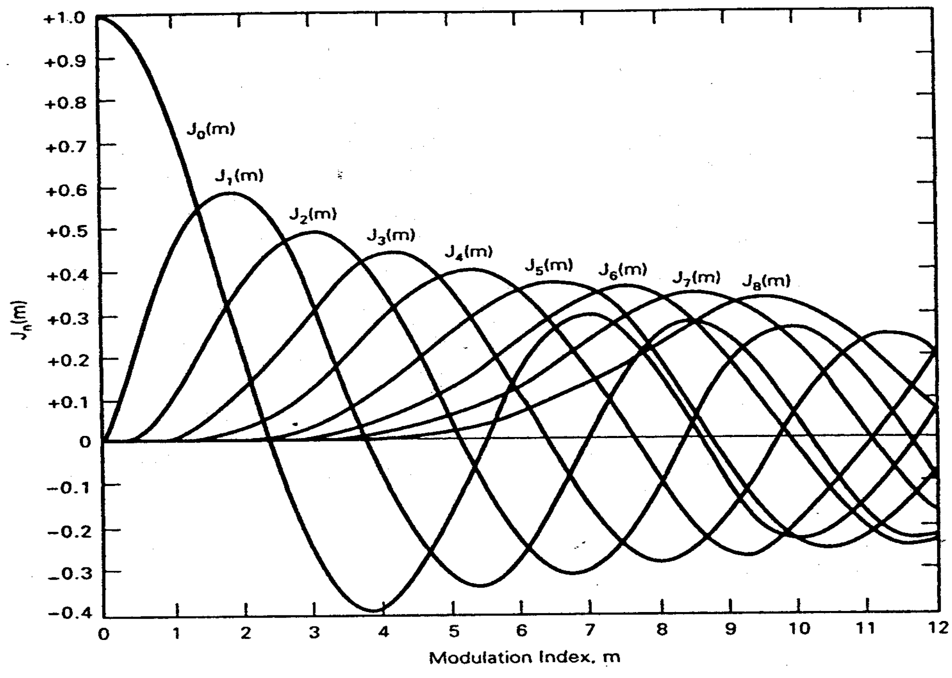
الأزواج المتتابعة تُدعى عرض الجناح من الدرجة الأولى، عرض الجناح من الدرجة الثانية وهكذا، أما أطوال سعاتها فهي محددة بواسطة الثوابت $J_{1(m)}$, $J_{2(m)}$ بالترتيب.

إن الجدول ٣- ١ يوضح دوال بيسال من النوع الأول من أجل عدة قيم لدليل التعديل. مع ملاحظة أنه يمكننا تحديد عدد أزواج الأجنحة الترددية المميزةعن طريق عدد الخانات التي لها قيم في الأجنحة بعد خانة جناح الحامل (J_1, J_2, J_3, J_4,.....). اما السعات النسبية للموجة الحاملة والأجنحة فهي القيمو الموجودة في الخانة مضروبة في سعة الموجة الحاملة فبل التعديل ($J_{n(m)}$ $(E_c)_{unmodulated}$)

جدول٣- ١ دوال بيسال من النوع الأول $J_{n[m]}$

m	J_o	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{11}	J_{12}	J_{13}	J_{14}
0.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.25	0.98	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.5	0.94	0.24	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.4	0.00	0.52	0.43	0.20	0.06	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.5	- 0.05	0.5	0.45	0.22	0.07	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-
3.0	- 0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-
4.0	- 0.04	- 0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02	-	-	-	-	-	-	-
5.0	- 0.18	- 0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	-	-	-	-	-	-
6.0	0.15	- 0.28	- 0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02	-	-	-	-	-
7.0	0.30	0.00	- 0.30	- 0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	-	-	-	-
8.0	0.17	0.23	- 0.11	- 0.29	- 0.10	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	-	-	-
9.0	- 0.09	0.25	0.14	- 0.18	- 0.27	- 0.06	0.20	0.33	0.31	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01	-
10.0	- 0.25	0.05	0.25	0.06	- 0.22	- 0.23	- 0.01	0.22	0.32	0.29	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01

يمكن ملاحظة من الجدول ٣- ١ أنه كلما زاد معامل التعديل(m) فإن طويلة الموجة الحاملة $J_{n[m]}$ تتناقص. وإن الشكل ٣- ٢ يوضح منحنيات السعات النسبية للموجة الحاملة وبعض أزواج من الأجنحة الترددية من أجل قيم m إلى غاية 10.



الشكل ٣- ٢ رسم بياني يوضح قيم $J_{n[m]}$ مقابل m.

مثال ٣- ٤

من أجل معدَل FM ، حيث دليل التعديل m=1 ، إشارة المعلومات

$V_m(t)=V_m \sin (2\pi\ 1000t)$

وإشارة الموجة الحاملة قبل التعديل

$V_c(t)=10 \sin (2\pi\ 5x10^4t)$

أوجد :

أ. عدد أزواج الأجنحة الترددية المميزة.

ب. السعات النسبية للموجة الحاملة والأجنحة.

ج. ارسم الطيف الترددي موضحاً عليه قيم السعات النسبية

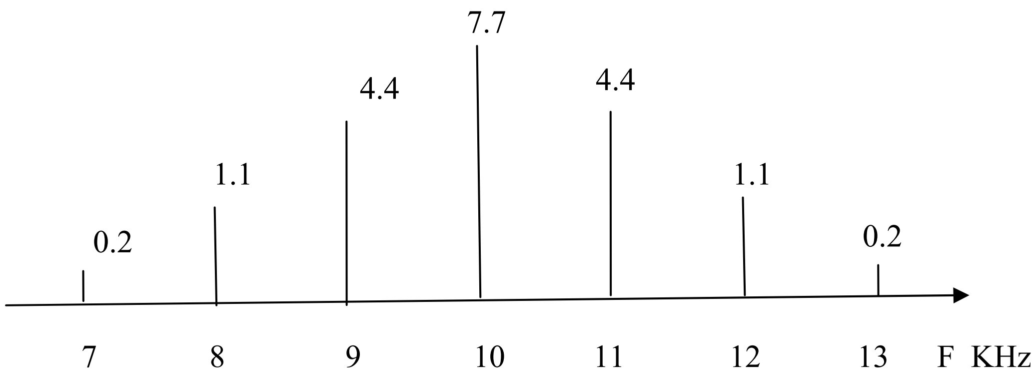
الحل:

أ. باستعمال الجدول ٣- ١ من أجل m=1 فإن عدد الأزواج يساوي 3.

ب. السعات النسبية للموجة الحاملة والأجنحة هي:

$J_0 = 0.77\ (10) = 7.7\ V$
$J_1 = 0.44\ (10) = 4.4\ V$
$J_2 = 0.11\ (10) = 1.1\ V$
$J_3 = 0.02\ (10) = 0.2\ V$

ج. الطيف الترددي مبين في الشكل التالي:



٣- ٢- ٥ متطلبات عرض نطاق موجات المعدَلة زاوياً

Bandwidth requirement for Angle Modulated

نود أن ننبه إلى الملحوظة التالية بناءً على الشرح السابق وكذلك إلى المثال ٣- ٤ فإن عرض نطاق التعديل الزاوي يتعلق بتردد إشارة المعلومات وثابت التعديل. فبالتالي لا بد أن نقوم بتمييز عدة حالات:

الحالة الأولى: عندما يكون ثابت التعديل منخفضاً، ففي هذه الحالة فإن الطيف الترددي للتعديل الزاوي يشبه تماماً الطيف الترددي للتعديل الاتساعي (AM)، وعرض النطاق الأدنى تجاوزاً يعطى بالعلاقة التالية:

$$B = 2.f_m \tag{3-24}$$

الحالة الثانية: من أجل دليل التعديل العالي، فإن عرض النطاق في هذه الحالة يقرب بالعلاقة التالية:

$$B = 2\Delta f \tag{3-25}$$

الحالة الثالثة: إن عرض النطاق المطلوب من أجل تمرير جميع الأجنحة الترددية لموجة التعديل الزاوي معطاة بالعلاقة التالية:

$$B = 2(n \times f_m) \tag{3-26}$$

حيث:

n: عدد أزواج الأجنحة وتحدد من جدول بيسال

f_m: تردد إشارة المعلومات (إشارة التعديل).

الحالة الرابعة: بتاريخ 28 أغسطس 1939م، أوجد العالم كارسن (Carson) قانون بموجبه يحدد عرض نطاق موجة التعديل الزاوي وهذا بغض النظر على دليل التعديل وأصبح يدعى قانون كارسن الذي ينص رياضياً على ما يلي:

$$B = 2\lfloor \Delta f + f_{m(\max)} \rfloor \quad [Hz] \tag{3-27}$$

حيث:

ΔF : الانحراف الأقصى في التردد

$f_{m(max)}$: التردد الأقصى لإشارة التعديل (المعلومات)

لو تأملنا قانون كارسن لوجد أنه يأخذ بعين الاعتبار الحالة الأولى والثانية كيف؟

لو فُرض أن $f_{m(max)}$ كبيرة جداً مقارنة بـ ΔF فإن قانون كارسن يختصر إلى المعادلة رقم **(3-24)** وهي تمثل الحالة الأولى التي مرت معنا ومن جهة أخرى، لو افترضنا أن ΔF كبيرة جداً أمام $F_{m(max)}$ ، فإن قانون كارسن يختصر إلى المعادلة رقم (3-25) والتي تمثل الثانية التي سبق ذكرها. وبالتالي يمكن القول أن قانون كارسن شامل. إن قانون كارسن يحدد عرض النطاق الذي يشمل تقريباً 98% من الطاقة المحتواة في الموجة المعدَلة. إن عرض النطاق الفعلي المطلوب يتعلق بإشارة التعديل (المعلومات) ونوعية الإرسال المرغوب فيه.

مثال ٥- ٥

من أجل معدَل FM حيث الانحراف الأقصى في التردد $\Delta F = 10kHz$، تردد إشارة التعديل f_m=10kHz، سعة الموجة الحاملة E_c=10v، وترددها f_c= 500kHz.

أوجد :

أ. عرض النطاق الأدنى باستعمال جدول بيسال.

ب. عرض النطاق الأدنى باستعمال قانون كارسن.

الحل

أ- عرض النطاق الأدنى باستعمال جدول بيسال

$$B = 2\ (n \times f_m)$$

لإيجاد n عدد أزواج الأجنحة والتي تحدد من جدول بيسال، نريد أولاً ايجاد m و ذلك عن طريق العلاقة التالية

$$m = \frac{\Delta f}{f_m}$$

$$m = 10k\ /\ 10k = 1\ ,\ m = 1$$

و باستعمال الجدول ٣- ١ من أجل $m=1$ فإن عدد الأزواج يساوي: $n=3$

إذاً عرض النطاق الأدنى باستعمال جدول بيسال:

$$B = 2\ (3 \times 10\ K) = 60\ KHz.$$

ب- عرض النطاق الأدنى باستعمال قانون كارسن:

$$B = 2\ (\Delta F + f_{m(max)})$$

$$B = 2\ (10\ K + 10\ K) = 40\ kHz$$

نلاحظ أن عرض نطاق الفعلي الناتج من قانون كارسن والمطلوب لتمرير جميع الأجنحة الترددية أقل من عرض النطاق الناتج من استعمال جدول بيسال. فبالتالي يمكن أن نخلص إلى الاستنتاج التالي عند تصميم نظام اتصالات باستعمال قانون كارسن سيكون هذا النظام أقل مردودية بنسبة ضئيلة مقارنة مع أي نظام يصمم بواسطة جدول بيسال.

٣- ٢- ٦ القدرة المتوسطة للموجة المعدَلة زاويا

Average Power of an Angle – Modulated Wave

أحد الفروق الأساسية بين التعديل الزاوي وتعديل السعة يكمن في توزيع الطاقة في الموجة المعدَلة و هذا على خلاف AM، فإن الطاقة الكلية في الموجة المعدَلة في التعديل الزاوي تساوي طاقة الموجة الحاملة قبل التعديل وهذا جوهر الاختلاف بينهما.

وبالتالي يمكن القول أن الطاقة التي تحملها الموجة الحاملة قبل التعديل سيعاد توزيعها بعد التعديل على كل من الموجة الحاملة بعد التعديل والأجنحة الترددية.

ورياضياً يمكن التعبير عن قدرة الموجة الحاملة قبل التعديل بالمعادلة التالية (انظر الوحدة الثانية)

$$P_C = \frac{E_C^2}{2R} \qquad (3\text{-}28)$$

أما القدرة الكلية فهي معطاة بالعلاقة التالية

$$P_t = P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + ... + P_n \qquad (3\text{-}29)$$

$$P_t = \frac{E_0^2}{2R} + 2\left[\frac{V_1^2}{2R} + \frac{V_2^2}{2R} + \frac{V_3^2}{2R} + ... + \frac{V_n^2}{2R}\right] \qquad (3\text{-}30)$$

حيث:

P_t: القدرة الكلية للموجة المعدَلة زاوياً

P_0: قدرة الموجة الحاملة بعد التعديل

P_1: قدرة المجموعة الأولى من الأجنحة الترددية

P_2: قدرة المجموعة الثانية من الأجنحة الترددية

P_3: قدرة المجموعة الثالثة من الأجنحة الترددية

P_n: قدرة المجموعة n من الأجنحة الترددية

$E_0 = J_0 E_c$: سعة الموجة الحاملة بعد التعديل

$V_1 = J_1 E_c$: سعة الجناح الترددي الأول

$V_n = J_n E_c$: سعة الجناح الترددي n.

أما J_0, J_1 , ... J_n هي عبارة عن جذور دالة بيسال من النوع الأول والمعطاة في الجدول ٣- ١ حسب قيمة دليل التعديل. كذلك نلاحظ أن الرقم 2 الوارد في المعادلة **(5-30)** نتيجة وجود زوج من الأجنحة واحد على يمين f_c والآخر على يسار f_c.

مثال ٣- ٦

أ- أوجد قدرة الموجة الحاملة قبل التعديل لمضمن FM مع الشروط المعطاة في المثال ٣- ٥ (افتراض أن مقاومة الحمل $R_L = 50$ Ohms).

ب - أوجد القدرة الكلية المحتواه في الموجة المعدَلة للتعديل الزاوي.

الحل:

من المثال السابق نجد أن

$E_c = 10V, m=1, n=3$

أ- لإيجاد قدرة الموجة الحاملة قبل التعديل نستخدم المعادلة رقم (3-28)

$$P_C = \frac{10^2}{2(50)} = 1 \quad W$$

ب –لإيجاد القدرة الكلية نطبق معادلة (3-30) لذلك نحتاج الى ايجاد القيم التالية:

١- $E_0 = J_0\ Ec = 7.7V$ بعد أخذ قيمةJ_o من جدول ٣- ١.

٢-

$$V_1 = J_1\ E_c = 0.2\ V$$
$$V_2 = J_2\ E_c = 1.1\ V$$
$$V_3 = J_3\ E_c = 4.4V$$

بعد أخذ قيم ($J_1=0.44$, $J_2=0.11$, $J_3=0.02$)من جدول ٣- ١

٣- بعد ذلك يمكننا تطبيق المعادلة (3-30) الى الحد الثالث و من ثم نحصل على:

$$P_t = 1.0051\ W$$

نلاحظ أن قيمة الطاقة الكلية قريبة من طاقة الموجة الحاملة قبل التعديل. أما الفروقات الطفيفة بينهما ترجع إلى القيم المقربة في جدول بيسال.

٣- ٣ مرسلات تعديل الزاوية

Angle Modulated Transmitters

أ . دائرة معدل FM

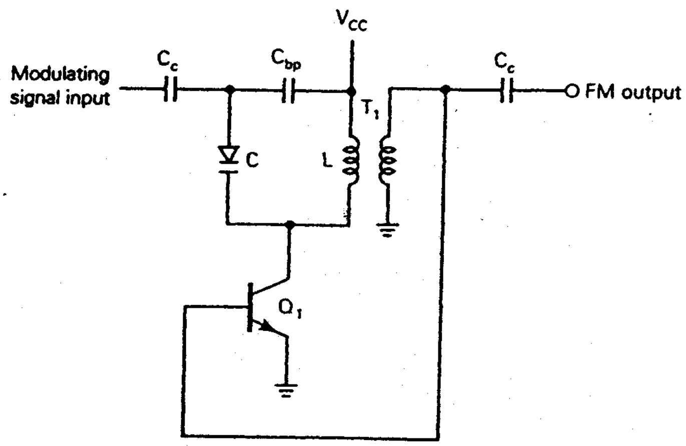
إن الشكل ٣- ٣ يوضح الدائرة الإلكترونية التي يمكن استخدامها من أجل توليد موجة FM. وفي هذا الشكل صمام متغير المكثفة قد استعمل لتحويل كل تغيير يطرأ على سعة إشارة المعلومات إلى تغيير في التردد من المعروف من مقرر الإلكترونيات أن تردد الاهتزاز للمذبذب يعطى بالعلاقة التالية

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{Lc}} \qquad (3\text{-}31)$$

عند تطبيق إشارة المعلومات، فإن تردد الاهتزاز يصبح كالتالي:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(c+\Delta c)}} \qquad (3\text{-}32)$$

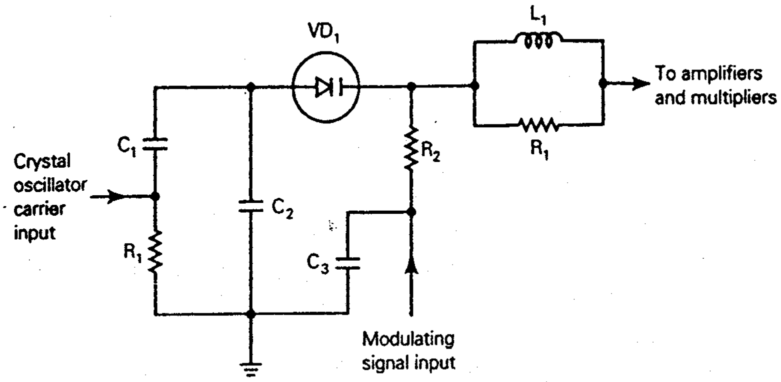
حيث f هو التردد الجديد للمذبذب وΔC هو التغيير الذي حصل في المكثفة نتيجة تطبيق إشارة المعلومات. اما L فهي قيمة الملف وتعطى بـ هنري(H)



الشكل ٣- ٣يوضح دائرة معدل لإنتاج موجة FM.

ب. دائرة معدل PM.

إن الشكل ٣- ٤ يوضح الدائرة الإلكترونية التي يمكن استخدامها من أجل توليد موجة PM. فنتيجة تطبيق إشارة المعلومات على صمام متغير المكثفة، سيحدث تغيير في قيمة المكثف لهذا الصمام مما يؤدي إلى تغيير طور الموجة الحاملة.



الشكل ٣- ٤ يوضح دائرة معدل لإنتاج PM

٣- ٤ مستقبلات تعديل الزاوية Angle Modulated Receivers

يوجد عدة طرق لإزالة التعديل و سوف نقوم بهذة الفقرة بدراسة بعض منها ، و لكن نواد التنبية على إنه في حالة موجات التعديل الزاوي فإن الأنحراف الترددي يجب تحويله الى تغير السعة.

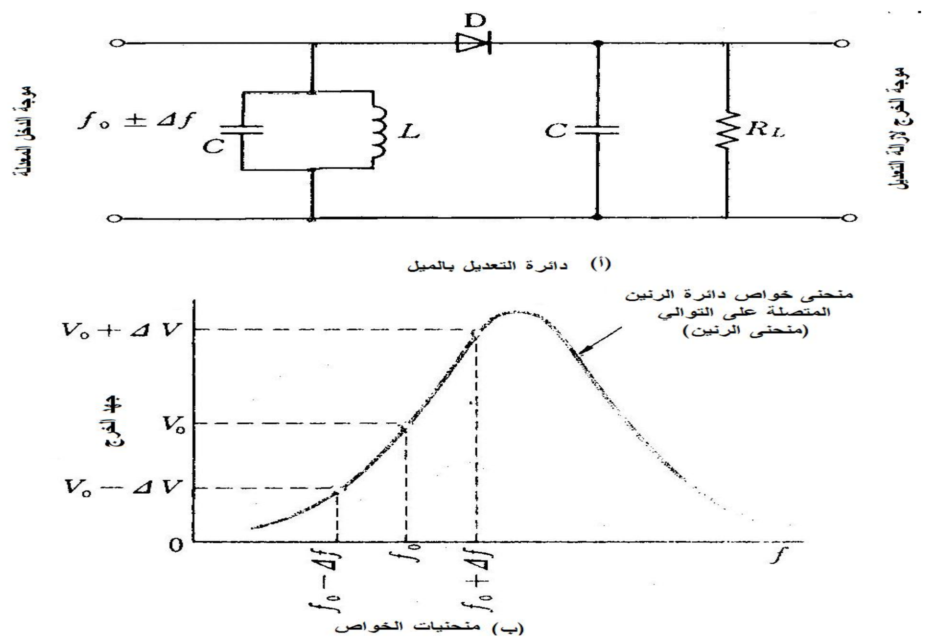
إزالة تعديل التردد لموجة معدلة

في عملية إزالة التعديل لموجة التعديل في حالة حالة تعديل التردد أو الطور فإن الإنحراف الترددي لهذه الموجات يجب تحويله إلى تغير في السعة.

و فيما يلي بعض الطرق المختلفة للقسام بهذة العملية:

أ- دائرة إزالة التعديل بواسطة الميل Slop detection circuit

يوضح الشكل ٣- ٥ فكرة إزالة التعديل بواسطة الميل، حيث أن ميل منحنى الرنين لدائرة الرنين المكونة من ملف ومكثف والمبين في الشكل ٣- ٥ ،يتم إستغلاله في تحويل إنحراف التردد إلى تغيير السعة. حيث يتم ضبط تردد الرنين الخاص بهذه الدائرة ليكون أعلى من تردد الموجة الحاملة f_o وليكون هذا التردد في منتصف الجزء المائل من منحنى الرنين لدائرة الرنين.



الشكل ٣- ٥ دائرة إزالة التعديل بواسطة الميل

والإنحراف الترددي الذي مقدارة $\pm\Delta f$ يسبب تغييراً الجهد الموجود على طرفي الدائرة الرنين بمقدار $\pm\Delta V$ كما هو موضح في الشكل ٣- ٥ .

وبذلك فإن التغيير في التردد تم تحويله إلى تغيير في السعة ،وبالتالي فإنه يمكن استخدام دائرة إزالة التعديل مثل تلك المستخدمة في حالة إزالة التعديل لموجات تعديل السعة للحصول على إشارة تعديل التردد.

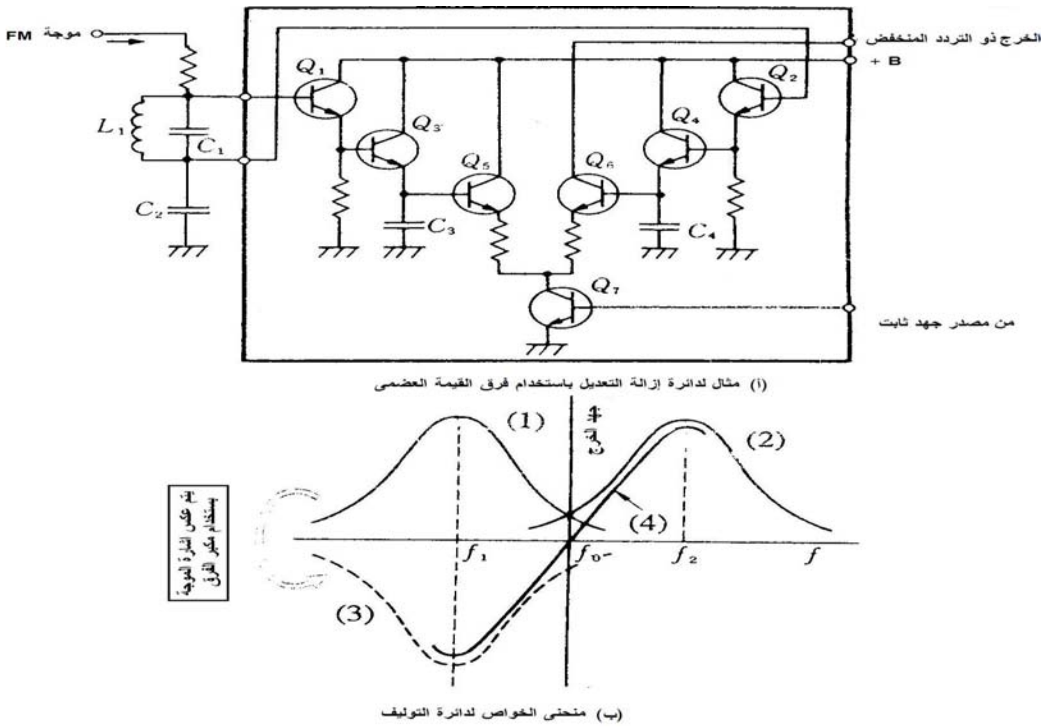
ولهذه الطريقة ميزة البساطة في الدائرة المستخدمة ولكن لها عيب لأنها تسبب تشويهاً للموجة ازالة التعديل بسبب أن الجزء المائل في منحنى دائرة الرنين ليس خطياً.

ب - دائرة إزالة التعديل بإستخدام فرق القيمة العظمى

Peak-Differential detection circuit

يوضح الشكل ٣- ٦ مثالاً لدائرة متكاملة لدائرة إزالة التعديل بإستخدام الفرق في القيمة العظمى.

منحنى الرنين المبين بالشكل ٣- ٦ و المشار اليه بالرقم (١) و هو الذي نحصل علية من قاعدة



الشكل ٣- ٦ دائرة إزالة التعديل الترددي بواسطة الدائرة المتكاملة

الترانزستور Q_2 و الناشئ عن دائرة رنين تتكون من C_1, C_2, L_1 والتي لها تردد رنين قيمته f_1 ، و منحنى الرنين الذي نحصل علية عند قاعدة الترانزستور Q_1 له تردد رنين قيمته f_2 كما هو مبين بالشكل٣- ٦.

و عند إدخال الموجةالمعدلة ترددياً ذات التردد المركزي f_c إلى دائرة الرنين فإنه يتم تكبير الجهد المقابل لكل تردد في هذه الموجة تبعاً لمنحى الرنين بواسطة الترانزستورين Q_2, Q_1 و بالتالي فإننا سوف نحصل على موجتين ذات تعديل اتساع (السعة) من تلك المعدلة ترددياً عند القاعدة.

و كل من الترانزستورين Q_4, Q_3 يتم إستخدام دائرة إزالة التعديل والتي تتكون من ثنائي بين قاعدة و باعث الترانزستور Q_3 أو Q_4 و المكثف C_3 أو C_4 على الترتيب. يلي ذالك تكبير الفرق بين موجتي إزالة التعديل بواسطة دائرة إزالة التعديل، و ذلك بواسطة الترانزستورين Q_6, Q_5 و في خلال هذه العملية يتم عكس إشارة المنحنى (١) ليصبح (٣) و بالتالي فإن الموجة التي تظهر عند مجمع الترانزستور Q_6 تكون ممثلة بالمنحنى (٤) لكل تردد من الترددات المحتواة، في موجة تعديل التردد.

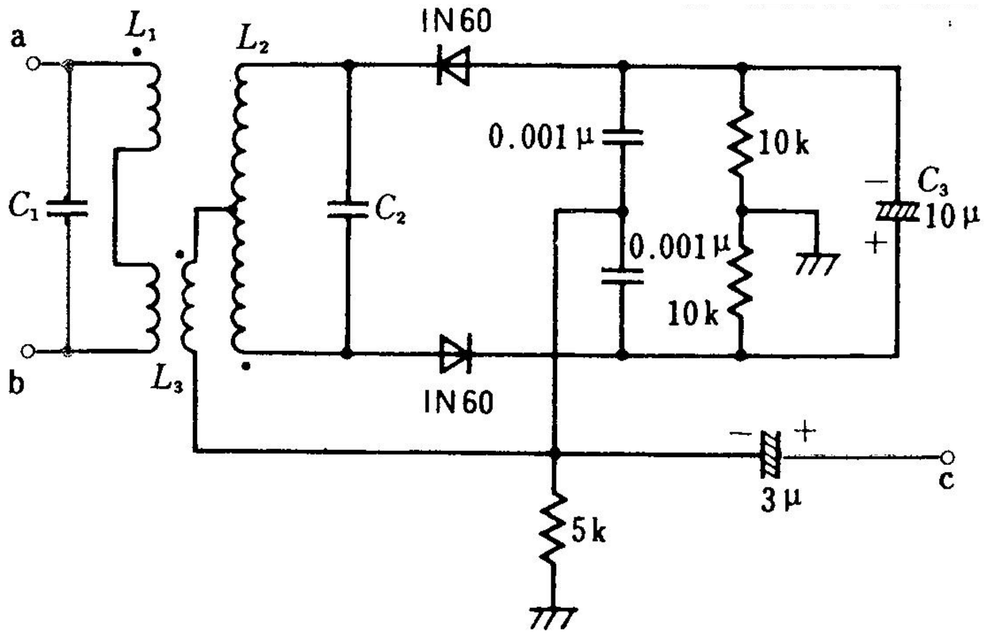
و يشبه هذا المنحى منحى دائرة إزالة التعديل بالميل و لكن مع خطية أكبر، و بالتالي لا يسبب تشويها ﯿﮯ اشارة إزالة التعديل بالقدر نفسه الموجود ﯿﮯ دائرة إزالة التعديل بالميل.

جـ - دائرة إزالة التعديل بالنسبة Ratio detection circuit

يوضح الشكل ٣- ٧ مثالاً عمليا لدائرة إزالة التعديل بالنسبة، فعند تطبيق موجة تعديل التردد إلى ملف L_1 فإننا تحصل على إشارة إزالة التعديل عند الطرف (C) .

و هذه الدائرةلها منحى الخواص الموضح ﯿﮯ شكل ٣- ٧ . كما أن هذا المنحى له نطاق خطي كبير أكبر من الذي حصلنا علية بالطرقتين السابقتين و بالتالي فإنه يسبب تشويها قليلاً جداً.

و ﯿﮯ الدائرة الموضحة بالشكل ٣- ٧ فإن المكثف C_3 يقوم بدور دئراة تحديد السعة و ذلك لإنه بإزالة الضوضاء الموجودة ﯿﮯ الموجة المعدلة.



الشكل ٣- ٧ دائرة إزالة التعديل الترددي بالنسبة

تمارين

التمرين الأول

إذا كان مضمن FM ينتج 5kHz لانحراف في التردد من أجل 10v لإشارة المعلومات.

أوجد :

أ. ثابت انحراف الحساسية

ب. ما هي قيمة الانحراف في التردد المنتج بواسطة 2V

التمرين الثاني

إذا كان مضمن PM ينتج 2 rad في انحراف الطور من أجل 5V لإشارة المعلومات.

أوجد :

أ. ثابت انحراف الحساسية

ب. ما هي قيمة الانحراف في الطور المنتج بواسطة 2v لإشارة المعلومات.

التمرين الثالث

إذا كان ثابت انحراف الحساسية لمضمن FM يساوي .... وإشارة المعلومات معطاة كما يلي

$$V_{m(t)} = 10 \sin 2\pi\, 2000t$$

أوجد

أ. الانحراف الأقصى في التردد.

ب. دليل التعديل

ج. ما هي قيمة الانحراف الأقصى في التردد المنتج عندما تتضاعف سعة إشارة المعلومات.

التمرين الرابع

إذا كان ثابت انحراف الحساسية لمعدل PM يساوي $K_p = 1.5$ إشارة المعلومات

$$V_{m(t)} = 2 \sin (2\pi\, 2000t)$$

أوجد :

أ. الانحراف الأقصى في الطور.

ب. ما هي قيمة الانحراف في الطور المنتج عندما تتضاعف سعة إشارة المعلومات.

التمرين الخامس:

إذا كان دليل التعديل m=2 لمعدل FM، وإشارة المعلومات $V_{m(t)} = V_m \sin 2\pi 2000t$، والموجة الحاملة $V_{c(t)} = 8 \sin (2\pi 800Kt)$

أ- عدد أزواج الأجنحة الترددية.

ب- أوجد سعاتها.

ج- ارسم الطيف الترددي هوضحاً عليه قيم السعات النسبية.

د- احسب عرض النطاق.

هـ- احسب عرض النطاق إذا ازدادت سعة إشارة المعلومات بمعامل 2.5.

أساسيات الاتصالات

التعدد بتقسيم التردد

التعدد بتقسيم التردد

٤

الوحدة الرابعة : التعدد بتقسيم التردد

Frequency Division Multiplexing (FDM)

- **الهدف**

عند نهاية هذه الوحدة باستطاعة المتدرب معرفة :

١. أن يتعرف على نظام التعدد.

٢. أن يتعرف على مختلف أنظمة التعدد.

٣. أن يفهم نظام التعدد بتقسيم التردد.

٤. أن يعرف الفرق بين أنظمة التعدد.

٥. أن يتعرف على تعدد القنوات الهاتفية.

* **محتوى الوحدة الرابعة :**

٤-١ مقدمة.

٤ - ٢ التعدد بالتقسيم التردد FDM.

٤ - ٣ تعدد القنوات الهاتفية.

٤ - ٣ تعدد القنوات الهاتفية.

عدد الساعات المطلوبة لتدريس هذه الوحدة : ٤ ساعات

٤-١ مقدمة Introduction

في أنظمة الاتصالات يستخدم نظام التعدد بشكل عام حيث يتم نقل عدة إشارت على قناة اتصال واحدة و في الاستقبال يتم فصل هذة الاشارات و إرسال كل واحدة إلى مقصدها (المكان المراد إرسالها إليها). و ينقسم التعدد إلى أقسام عدة ومن أهمها:

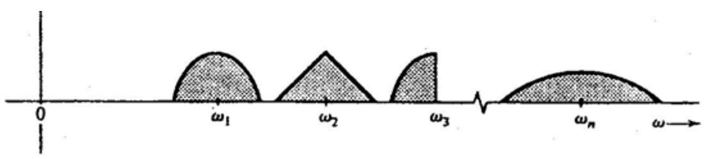
١- التعدد بتقسيم التردد FDM حيث يتقاسم عدد من الاشاراة النطاق المسموح به لقناة الاتصال.

٢- التعدد بتقسيم الزمن TDM حيث يتم تقسيم زمن القناة بين عدد من الاشارات التي ترسل على نفس القناة.

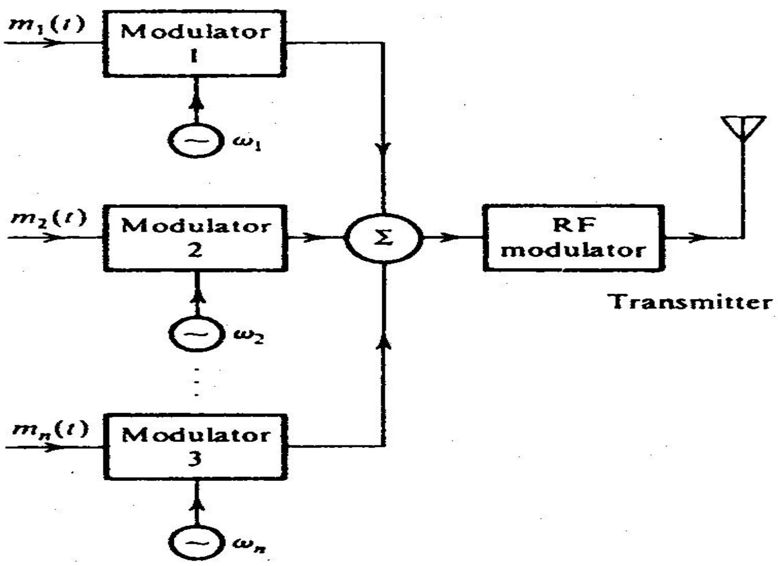
وبشكل عام يمكننا القول أن التعدد بتقسيم التردد مرتبط بالنظام التماثلي اما التعدد بتقسيم الزمن فهو مرتبط بالنظام الرقمي. لذلك سوف ندرس تظام التعدد بتقسيم التردد في هذه الوحدة اما التعدد بتقسيم الزمن فسوف يدرس في اساسيات الاتصالات الرقمية.

٤- ٢ التعدد بالتقسيم التردد FDM

يقوم التعدد بتقسيم التردد على مبدأ اشتراك عدد من الإشارات النطاق المسموح به لقناة الإتصال. ويتم تعديل كل هذه الإشارات بإستعمال موجة حاملة لها تردد مختلف عن تردد الإشارات الآخرى ويتم فصل الترددات المختلفة لهذه الموجات فصلا كافياً بمقدار (التردد الحارس f_g) لكي يمنع حدوث التداخل بين أطياف مختلف هذه الإشارات المعدلة وتعرف هذ الموجات الحاملة بالموجات الفرعية. يوضح الشكل(٤- ١) توزيع الاشارات على الطيف الترددي لعملية تعديل الاشارات المختلفة بإستخدام التعدد بتقسيم التردد. اما الشكل ٤- ٢ فيوضح عملية دمج هذه الاشارت في جهاز الإرسال.



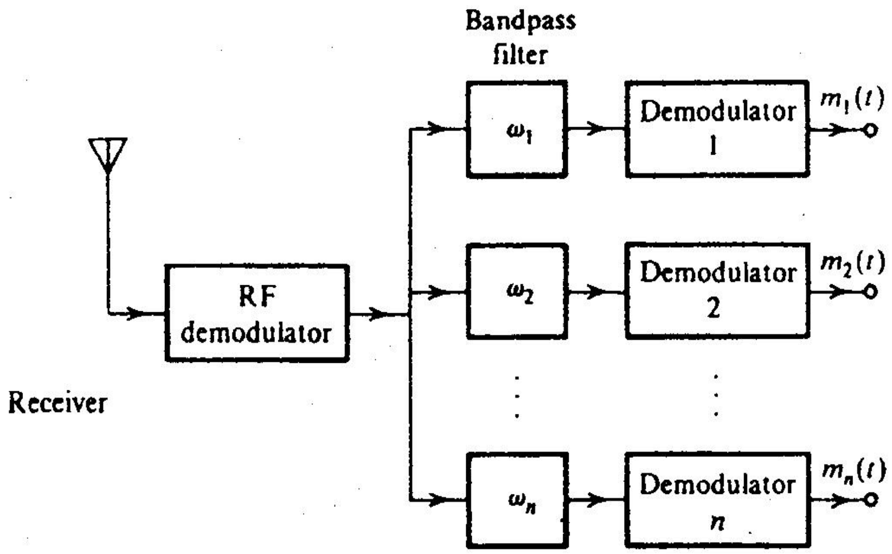
الشكل ٤- ١ توزيع الاشارات على خط الاتصال الترددي



الشكل ٤- ٢ التعدد بتقسم التردد إرسال

وعند إضافة كل أطياف الإشارات بعد التعديل نحصل على إشارة مركبة يمكن اعتبارها إشارة نطاق أساسي تدخل في تعديل موجة حاملة لها تردد مرتفع (تردد الراديو) بغرض الإرسال.

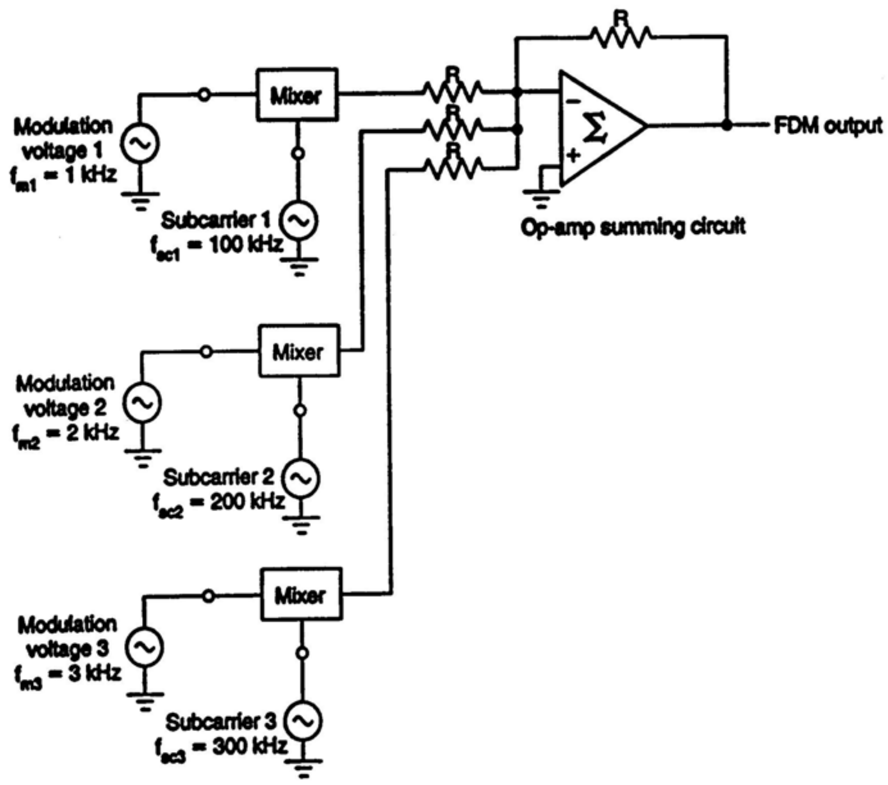
و في جهاز الاتستقبال يتم استخلاص الاشارت المعدلة عن طريق الموجة الحاملة ذات التردد العالي لكي تمر على مرشحات الإمرالر النطاقي لفصل كل اشارة على حدةو من ثم يتم استخلاص كل إشارة عن طريق الموجة الحاملة الفرعيية الخاصة بها. الشكل ٤- ٣ يوضح عملية فك عملية الدمج للإشارات و التي تحدث هذه في جهاز الإستقبال.



الشكل ٤- ٣ التعدد بتقسم التردد إستقبال

مثال ٤- ١

في الشكل ٤- ٤ يوجد ثلاث إشارات جيبية نريد إرسالهم بإستخدام قناة اتصال واحدة عن طريق التعدد بتقسيم التردد حيث:



الشكل ٤- ٤ دائرة خاصة بنظام التعدد بتقسيم التردد

١- الاشارة الاولى لها تردد f_{m1}=1 KHz وحملت على تتردد f_{c1}= 100KHz.

٢- الاشارة الثانية لها تردد f_{m2}=2 KHz وحملت على تتردد f_{c2}= 200KHz.

٣- الاشارة الاولى لها تردد f_{m3}=3 KHz وحملت على تتردد f_{c3}= 300KHz.

٤-

المطلوب:

أ- ارسم الطيف الترددي عند الخرج الخاص بالتعدد بتقسيم التردد.

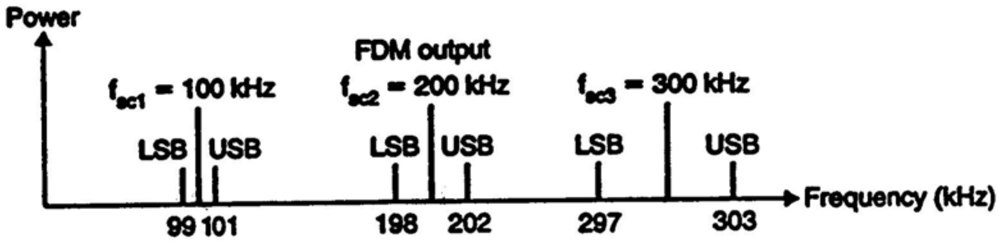
ب- عرض النطاق الخاص بكل اشارة.

ت- قيمة التردد الحارس بين الإشارة الاولى و الثانية (f_{g1}) و قيمة التردد الحارس بين الإشارة الثانية و الثالثة (f_{g2})

ث- عرض النطاق الكلي BW_T بطريقتين.

الحل

أ- الطيف الترددي عند قناة الاتصال (خرج التعدد بتقسيم التردد



ب- عرض النطاق للإشارة الاولى:

BW_1=(101-99) K= 2 KHz

عرض النطاق للإشارة الثانية:

BW_2=(202-198) K= 4 KHz

عرض النطاق للإشارة الاولى:

BW_1=(303-297) K= 6 KHz

ت- قيمةالتردد الحارس بين الإشارة الاولى و الثانية (f_{g1}) هي:

f_{g1}=(198-101) K= 97 KHz

قيمةالتردد الحارس بين الإشارة الثانية و الثالثة (f_{g2}) هي:

f_{g2}=(297-202) K= 95 KHz

ث- الطريقة الاولى: عرض النطاق الكلي هو

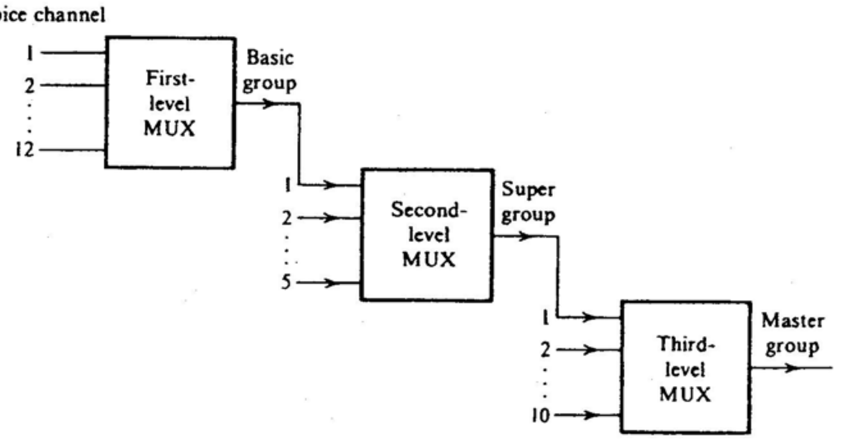
BW_T=(303-99) K = 204 KHz

الطريقة الثانية: عرض النطاق الكلي هو

$BW_T = BW_1+BW_2+BW_3+ f_{g1}+ f_{g2}$
= (2+4+6+97+95) K = 204 KHz

٤- ٣ تعدد القنوات الهاتفية Telephone-Channel Multiplexing

وضعت الهيئة الأستشارية الدولية للبرق والهاتف مقايس نظام التعدد بتقسيم التردد و الذي يوفر مرونة لا يستهان بها في عمل الترفيعات ، وإسقاط أو ادخال مجموعة من القنوات عند نقاط مختلفة على طول المسار و هذا النظام معمول به إلى عهد قريب. يوضح الشكل ٤- ٥ نموذج من الترتيب الهاتفية لنظام التعدد بتقسيم التردد و المتبع في أمريكا الشمالية و المنقسم إلى ثلاث أقسام رائسية: المجموعة الأساسية، المجموعة الكبيرة، و المجموعة الرئيسية.



الشكل ٤- ٥ نموذج من الترتيب الهاتفية لنظام التعدد بتقسيم التردد و المتبع في أمريكا الشمالية.

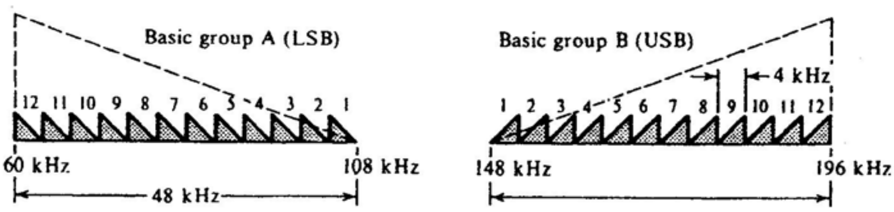
المجموعة الأساسية Basic Group

تتكون المجموعة الأساسية من اثنتي عشرة قناة صوتية جمعت حسب نظام التعدد بتقسيم التردد و باستخدام تضمين النطاق المفرد ، ويبلغ عرض نطاق كلٌ منها ٤ كيلوهرتز كما هو موضح في الشكل ٤- ٦.



الشكل ٤- ٦ طيف إشارة النطاق الأساسي

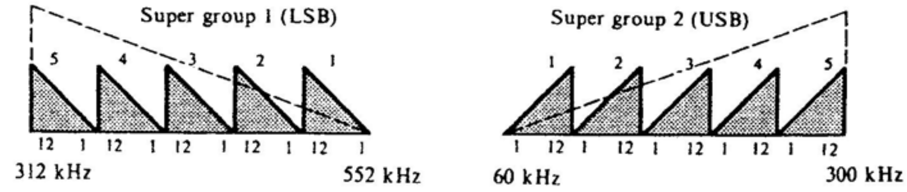
ويستخدم في هذه المجموعة الأساسية أطياف النطاق الجانبي السفلي وتشغل نطاقاً يمتد من ٦٠ إلى ١٠٨ كيلو هرتز و هناك شكل بديل لهذه المجموعة من١٢إشارة صوتية يستخدم النطاق الجانبي العلوي وتشغل نطاقاً يمتد ١٤٨إى ١٩٦ كيلو هرتز كما في الشكل ٤- ٧.



الشكل ٤- ٧ المجموعة الأساسية و المكونة من ١٢ قناة.

المجموعة الكبيرة Super Group

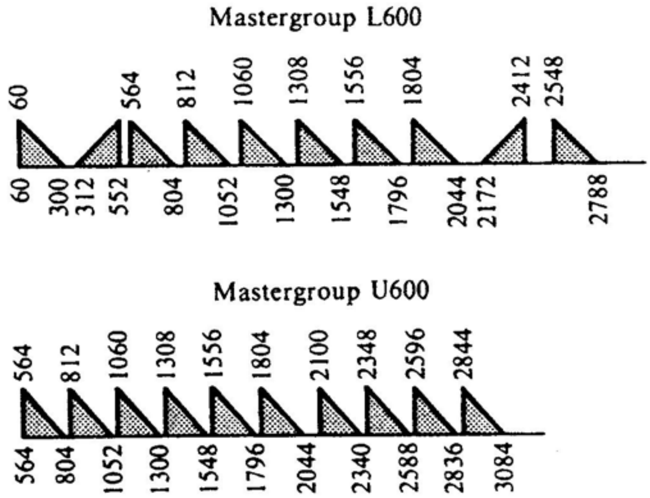
تشكل المجموعة الكبيرة المكونة من ٦٠ قناة عن طريق دمج خمس مجموعات أساسية ، وتشغل حيزاً يمتد من ٣١٢ إلى ٥٥٢ كيلو هرتز. أما التشكيل البديل لهذه المجموعة فيستخدم الأطياف الجانبية العلويةكما هو موضح في الشكل ٤- ٨.



الشكل ٤- ٨ المجموعة الكبيرة و المكونة من ٦٠ قناة.

المجموعة الرئيسية Master Group

تتكون المجموعة الرئيسية من ٦٠٠ قناة عن طريق ضم (١٠) مجموعات كبيرة. و يوجد شكلان رئيسيان قياسيان للمجموعة هما U600 L600 كما يتضح في الشكل٤- ٩.



الشكل ٤- ٩المجموعة الرئيسة و المكونة من ٦٠٠ قناة.

اما بالنسبة إلى أنظمة النقل الحديثة الواسعة النطاق فتستطيع أن تنقل من المكالمات ما يفوق ماتنقله المجموعات الرئسية (المكونة من ٦٠٠ قناة). على سبيل المثال نظام L3 حامل و نظام TH الميكروويفي تنقل ١٨٦٠ قناة صوتية. ام نظام L4 فينقل ٣٦٠٠ قناة صوتية.

تمارين

التمرين الأول

ما الفائدة من استخدام نظام التعدد في أنظمة الاتصالات؟

التمرين الثاني

إذكر أهم أنواع التعدد؟

التمرين الثالث

ماهو المبدأ الذي يقوم عليه نظام التعدد بتقسيم التردد؟

التمرين الرابع

علل وجود (التردد الحارس f_g) في نظام التعدد بتقسيم التردد؟

التمرين الخامس

اشرح كيفة إرسال أكثر من إشارة بإستخدام قناة اتصال واحدة؟ ثم اشرح كيفية اسقبالها؟

التمرين السادس

أعد حل مثال ٤- ١ إذا كان لدينا الإشارات الجديدة التالية:

١- الاشارة الاولى لها تردد f_{m1}=5 KHz وحملت على تتردد f_{c1}= 150KHz.

٢- الاشارة الثانية لها تردد f_{m2}=20 KHz وحملت على تتردد f_{c2}= 400KHz.

٣- الاشارة الاولى لها تردد f_{m3}=30 KHz وحملت على تتردد f_{c3}= 500KHz.

المراجع

Wayane Tomasi `` Electronic communication systems fundamental through advanced `` .

Schaum's outlines `` Analog and digital communications`` McGraw Hill (1993).

Horld B. Killen `` Communication techniques`` Macmilan publishing company New York (1985).

Louis E. Frenzel `` Communication electronics principles and applications`` McGraw Hill 3 rd edition (2000).

Gary M. Miller`` Modern electronic communications`` Prentice Hall International Inc (1996).

Dornhofer G. and Nies A. ``STE 6.1.6 High frequency circuits using plug in system electrical engineering and electronics`` Lybold Didactic GMBH (1990).

Lathi B.P. `` Modern digital communication systems`` second edition, Rinehart and Winston Inc., Orlando 32887 (1989). The translated copy by. Dr. Ibrahim El khadi, Dr. Abdelaziz El rouisi amd Dr. Adel Ali `` King Saoud University``.

Saad Ali El Haj Bakri and Mohamad abderhman El harbi`` Intoduction to communication`` King Saoud university (1988).

المحتويات